



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO TÉCNICO DE UN  
SONDEO DE CAPTACIÓN DE  
AGUAS SUBTERRÁNEAS Y  
CONSTRUCCIÓN DE UNA  
BALSA PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE USOS  
AGRÍCOLAS EN T.M. DE JAÉN**

**Alumno:** Carlos Manuel Tapia Parra

**Tutor:** Prof. D. Antonio José Civanto Redruello  
Prof. D. Francisco José Pérez Latorre

**Depto:** Ingeniería Mecánica y Minera

Febrero, 2023



# UNIVERSIDAD DE JAÉN

Campus Científico – Tecnológico de Linares

Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera

Don Antonio José Civanto Redruello y Francisco José Pérez Latorre, como tutores del Trabajo Fin de Grado titulado: Estudio técnico de un sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa para el abastecimiento de usos agrícolas en T.M. de Jaén; autorizan su presentación para defensa y evaluación en el Campus Científico – Tecnológico de Linares

Jaén, Febrero de 2023.

El alumno:

Tutor:

Cotutor:

Carlos Manuel  
Tapia Parra

Don Antonio José  
Civanto Redruello

Don Francisco José  
Pérez Latorre

*Success is not final, failure is not fatal, it is the courage to continue that counts.*

Winston Churchill

# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>1</b>
<b>1. MEMORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificación y objeto del estudio técnico.....</b>	<b>2</b>
<i>1.2.1. Situación geográfica .....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Situación topográfica.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3. Acceso a finca e instalaciones.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.4. Afección a instalaciones existentes y consideraciones previas .....</i>	<i>6</i>
<b>1.3. Estudio y obras a realizar .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4. Documentos que componen el estudio técnico .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5. Estudio geológico.....</b>	<b>9</b>
<i>1.5.1. Geología y tectónica regional.....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.2. Geología de la zona de estudio .....</i>	<i>11</i>
<i>1.5.3. Sismicidad.....</i>	<i>14</i>
<b>1.6. Climatología.....</b>	<b>18</b>
<i>1.6.1. Temperatura.....</i>	<i>19</i>
<i>1.6.2. Pluviometría.....</i>	<i>20</i>
<i>1.6.3. Evapotranspiración potencial.....</i>	<i>20</i>
<b>1.7. Estudio hidrogeológico del acuífero.....</b>	<b>22</b>
<i>1.7.1. Características geológicas del acuífero [11].....</i>	<i>24</i>
<i>1.7.1.1. Hidrogeología del acuífero [12] [13].....</i>	<i>26</i>
<i>1.7.1.2. Permeabilidad, porosidad y transmisividad [11].....</i>	<i>28</i>
<i>1.7.2. Funcionamiento del Acuífero San Cristóbal [10].....</i>	<i>30</i>
<i>1.7.2.1. Balance hídrico del acuífero.....</i>	<i>30</i>
<i>1.7.2.2. Piezometría.....</i>	<i>32</i>
<b>1.8. Estudio hidrogeoquímico [12] [13].....</b>	<b>33</b>
<i>1.8.1. Campaña de prospección geoquímica .....</i>	<i>34</i>

1.8.1.1.	<i>Toma de datos</i> .....	35
1.8.1.2.	<i>Nitratos, nitritos y amonios</i> .....	36
1.8.1.3.	<i>Conductividad, cloruros y sulfatos</i> .....	36
1.8.1.4.	<i>Metales pesados: Cadmio, Plomo y Mercurio</i> .....	37
1.8.2.	<i>Parámetros medidos</i> .....	38
1.8.2.1.	<i>Diagrama triangular de Piper</i> .....	39
1.8.3.	<i>Calidad y clasificación</i> .....	40
<b>1.9.</b>	<b>Estudio de prospección geofísica</b> .....	<b>41</b>
1.9.1.	<i>Sondeo eléctrico vertical (SEV)</i> .....	41
<b>1.10.</b>	<b>Estudio geotécnico de la parcela</b> .....	<b>43</b>
<b>1.11.</b>	<b>Descripción de los materiales a perforar</b> .....	<b>43</b>
1.11.1.	<i>Columna de materiales a perforar</i> .....	43
<b>1.12.</b>	<b>Método de perforación adoptado</b> .....	<b>44</b>
1.12.1.	<i>Justificación del método de perforación elegido [20]</i> .....	45
<b>1.13.</b>	<b>Sondeo</b> .....	<b>46</b>
1.13.1.	<i>Caudal</i> .....	46
1.13.2.	<i>Ejecución de la perforación</i> .....	46
1.13.2.1.	<i>Acondicionamiento</i> .....	47
1.13.2.2.	<i>Entubado de la perforación</i> .....	47
1.13.2.3.	<i>Compactación de gravas</i> .....	49
1.13.2.4.	<i>Rejilla</i> .....	50
1.13.2.5.	<i>Limpieza del sondeo</i> .....	51
1.13.2.6.	<i>Ensayo de bombeo</i> .....	51
1.13.2.7.	<i>Cierre de la captación</i> .....	52
<b>1.14.</b>	<b>Equipo de perforación</b> .....	<b>52</b>
1.14.1.	<i>Sarta de perforación</i> .....	52
1.14.1.1.	<i>Martillo en fondo</i> .....	52
1.14.1.2.	<i>Broca de perforación</i> .....	54
1.14.1.3.	<i>Varillaje</i> .....	54
1.14.1.4.	<i>Esquema equipo de perforación</i> .....	54

1.14.2.	<i>Estabilizadores</i> .....	55
1.14.3.	<i>Fluidos de perforación</i> .....	55
1.14.4.	<i>Compresores</i> .....	57
<b>1.15.</b>	<b>Maquinaria de perforación escogida</b> .....	<b>59</b>
<b>1.16.</b>	<b>Depósito de riego de prefabricada</b> .....	<b>61</b>
1.16.1.	<i>Recubrimientos [23]</i> .....	62
1.16.2.	<i>Instalación</i> .....	63
<b>1.17.</b>	<b>Condiciones generales de ejecución de obra</b> .....	<b>67</b>
<b>1.18.</b>	<b>Captaciones ajenas y sondeos próximos</b> .....	<b>68</b>
<b>1.19.</b>	<b>Estudio de impacto ambiental</b> .....	<b>69</b>
<b>1.20.</b>	<b>Obras y servicios afectados</b> .....	<b>70</b>
<b>1.21.</b>	<b>Afecciones a vías pecuarias</b> .....	<b>70</b>
<b>1.22.</b>	<b>Conclusión</b> .....	<b>71</b>
<b>2.</b>	<b>ANEJOS A LA MEMORIA</b> .....	<b>72</b>
<b>2.1.</b>	<b>Anejo 1. Estudio Geotécnico</b> .....	<b>72</b>
2.1.1.	<i>Marco Geológico</i> .....	73
2.1.1.1.	<i>Excavabilidad y ripabilidad [21]</i> .....	73
2.1.2.	<i>Cata 1</i> .....	74
2.1.2.1.	<i>Análisis Granulométrico</i> .....	74
2.1.2.2.	<i>Límites de Atterberg</i> .....	75
2.1.3.	<i>Cata 2</i> .....	76
2.1.3.1.	<i>Análisis Granulométrico</i> .....	76
2.1.3.2.	<i>Límites de Atterberg</i> .....	77
2.1.4.	<i>Cata 3</i> .....	78
2.1.4.1.	<i>Análisis Granulométrico</i> .....	78
2.1.4.2.	<i>Límites de Atterberg</i> .....	79
2.1.5.	<i>Compacidad</i> .....	80
2.1.6.	<i>Expansividad</i> .....	80
2.1.7.	<i>Resultados y conclusiones</i> .....	80
<b>2.2.</b>	<b>Anejo 2. Métodos de cálculo empleados</b> .....	<b>83</b>

<b>2.3.</b>	<b>Anejo 3. Cálculos hidráulicos .....</b>	<b>83</b>
2.3.1.	<i>Caudal de agua necesario.....</i>	83
2.3.1.1.	<i>Capacidad máxima de extracción diaria del sondeo.....</i>	83
2.3.1.2.	<i>Horas máximas de riego diarias.....</i>	83
2.3.2.	<i>Calendario de riego.....</i>	84
2.3.3.	<i>Volumen de agua requerido.....</i>	85
2.3.4.	<i>Velocidad del agua.....</i>	85
2.3.5.	<i>Número de Reynolds.....</i>	86
2.3.6.	<i>Rugosidad relativa.....</i>	86
2.3.7.	<i>Coefficiente de rozamiento.....</i>	88
2.3.8.	<i>Pérdidas de carga.....</i>	88
2.3.9.	<i>Altura manométrica.....</i>	90
<b>2.4.</b>	<b>Anejo 4. Cálculo de la capacidad requerida para el depósito de riego .....</b>	<b>92</b>
2.4.1.	<i>Opción 1: Volumen capacidad máxima de extracción de agua del sondeo.....</i>	92
2.4.2.	<i>Opción 2: Riego dividido en un único sector.....</i>	92
2.4.3.	<i>Opción 3: Riego dividido en dos sectores.....</i>	93
2.4.4.	<i>Opción 4: Riego dividido en 3 sectores.....</i>	94
2.4.5.	<i>Opción 5: Riego dividido en 4 sectores.....</i>	95
2.4.6.	<i>Volumen escogido.....</i>	96
<b>2.5.</b>	<b>Anejo 7. Cálculo y selección del equipo de bombeo.....</b>	<b>96</b>
2.5.1.	<i>Predimensionamiento.....</i>	97
2.5.2.	<i>Equipo de bombeo escogido.....</i>	98
2.5.3.	<i>Especificaciones generales.....</i>	99
2.5.3.1.	<i>Curvas de rendimiento.....</i>	99
2.5.3.2.	<i>Curvas de motor.....</i>	101
2.5.4.	<i>Especificaciones Bomba.....</i>	102
2.5.4.1.	<i>Dimensionamiento bomba.....</i>	102
2.5.5.	<i>Especificaciones Motor.....</i>	103
2.5.5.1.	<i>Dimensionamiento motor.....</i>	105
2.5.6.	<i>Instalación.....</i>	105

2.5.7.	<i>Coste ciclo de vida y amortización</i> .....	106
<b>2.6.</b>	<b>Anejo 6. Cálculo y selección del grupo de re-bombeo</b> .....	<b>107</b>
<b>2.7.</b>	<b>Anejo 8. Cálculo de la instalación eléctrica</b> .....	<b>108</b>
2.7.1.	<i>Selección del grupo electrógeno</i> .....	108
2.7.2.	<i>Caseta prefabricada</i> .....	110
<b>2.8.</b>	<b>Anejo 7. Cálculo y selección del cableado de los equipos</b> .....	<b>110</b>
<b>2.9.</b>	<b>Anejo 9. Bibliografía, normativa aplicada y catálogos</b> .....	<b>112</b>
<b>3.</b>	<b>PLANOS</b> .....	<b>116</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Situación Geográfica de la finca: (a) En T.M. de Jaén; (b) Dentro de T.M. de Jaén. <i>Trabajado con QGIS [2]</i> .....	3
Figura 2. Subparcelas que componen la finca .....	4
Figura 3. Croquis de sondeo y balsa de riegos sobre sondeo. <i>Realizado en Google Earth Pro.</i> .....	5
Figura 4. Acceso a camino. <i>Fuente: Google earth pro</i> .....	6
Figura 5. Croquis de la ruta de acceso. <i>Google earth pro</i> .....	6
Figura 6. (a) Croquis general para consideraciones previas [5]; (b) Detalle de captaciones próximas y recintos de riego.....	8
Figura 7. Esquema tectónico (IGME [6]).....	10
Figura 8. Localización de sondeo en mapa geológico de la región (IGME [9]) .....	12
Figura 9. Corte Geológico III – III' [6]: (a) Localización sondeo en el corte; (b) Columna estratigráfica y leyenda.....	14
Figura 10. Mapa de Peligrosidad Sísmica .....	15
Figura 11. Clasificación del clima en el término municipal de Jaén.....	18
Figura 12. Clasificación del clima en el término municipal de Jaén.....	21
Figura 13. Situación de zona de estudio en el Mapa Hidrogeológico [10] .....	23
Figura 14. Capa de masas subterráneas en el visor de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir [5] .....	24
Figura 15. Mapa geológico del acuífero de San Cristóbal [5].....	26
Figura 16. Mapa hidrogeológico del acuífero de San Cristóbal [13] .....	27

Figura 17. (a) Acuífero dentro de la confederación hidrográfica del Guadalquivir. (b) Acuífero de San Cristóbal. (c) Mapa litología/permeabilidad del acuífero de San Cristóbal [11] .....	29
Figura 18. Croquis del funcionamiento del acuífero San Cristóbal [10].....	30
Figura 19. Entradas y salidas del acuífero San Cristóbal [13] .....	31
Figura 20. Gráfico piezométrico representativo [5] .....	33
Figura 21. Hidrogeoquímica de los acuíferos de la provincia de Jaén [5] .....	34
Figura 22. Mapa de situación de puntos utilizados para la campaña de prospección geoquímica [12].....	35
Figura 23. Mapa de calidad química de referencia. Compuestos nitrogenados en acuífero San Cristóbal [12].....	36
Figura 24. Mapa de calidad química de referencia. Conductividad, cloruros y sulfatos en acuífero San Cristóbal [12].....	37
Figura 25. Mapa de calidad química de referencia. Metales pesados: Cadmio, Plomo y Mercurio en acuífero San Cristóbal [12] .....	38
Figura 26. Diagrama de Piper – Hill – Langelier en acuífero San Cristóbal [12].....	40
Figura 27. Medición de la potencia en un punto del terreno A .....	42
Figura 28. Esquema del <i>SEV</i> .....	42
Figura 29. Funcionamiento del método de perforación por rotoperCUSión .....	45
Figura 30. Diseño de la abertura de rejilla.....	51
Figura 31. Martillo en fondo STENUICK08M .....	53
Figura 32. Varillaje de perforación escogido: (a) Referencias; (b) Despiece .....	55
Figura 33. Caudal de aire necesario en función al área anular y el diámetro del taladro de perforación.....	57
Figura 34. Compresor Atlas Copco modelo XRVS 960 E.....	59

Figura 35. Foto de equipo de perforación tipo Segoqui 21 [24].....	60
Figura 36. Depósito de riego tipo tanque australiano de ILURCO [23].....	62
Figura 37. Croquis del recubrimiento mediante Sistema Dúplex (Galvanizado + Epoxi)..	62
Figura 38. (a) Imagen 1: Pintado sobre acero no galvanizado. (b) Imagen 2: Pintado sobre acero galvanizado .....	63
Figura 39. Fase de movimiento de tierras para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23] .....	64
Figura 40. Fase de cimentación. Construcción de zuncho perimetral de hormigón armado para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23].....	65
Figura 41. Fase de montaje para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23] .....	66
Figura 42. Fase de montaje de cubiertas para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23] .....	67
Figura 43. (a) Croquis general de captaciones cercanas [5]; (b) Detalle captaciones y sondeos próximos en relación a 50 metros del sondeo [5].....	69
Figura 44. Impacto en vías pecuarias y otras consideraciones ambientales [5] .....	70
Figura 45. Croquis de ubicación de las catas en el perímetro de la obra.....	72
Figura 46. Cata 1: Curva Granulométrica .....	75
Figura 47. Cata 1: Carta de Plasticidad de Casagrande.....	76
Figura 48. Cata 2: Curva Granulométrica .....	77
Figura 49. Cata 2: Carta de Plasticidad de Casagrande .....	78
Figura 50. Cata 3: Curva Granulométrica .....	79
Figura 51. Cata 3: Carta de Plasticidad de Casagrande.....	80
Figura 52. Comparación Curvas Granulométricas de las tres catas .....	81
Figura 53. Comparación Carta de Plasticidad de Casagrande de las tres catas.....	81

Figura 54. (a) Clasificación geotécnica del terreno según la USCS; (b) Leyenda .....	82
Figura 55. Diagrama de obtención de factor de fricción de la tubería en función del diámetro y los materiales empleados .....	87
Figura 56. Diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de rozamiento .....	88
Figura 57. Nomograma para la determinación de pérdidas de carga localizadas.....	89
Figura 58. Croquis del sondeo y la balsa para el cálculo de la altura manométrica.....	91
Figura 59. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en un sector	93
Figura 60. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en dos sectores .....	94
Figura 61. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en tres sectores .....	95
Figura 62. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en cuatro sectores .....	96
Figura 63. Bomba GRUNDFOS SP 17 – 9 [33] .....	98
Figura 64. Curvas de rendimiento del equipo de bombeo [33] .....	100
Figura 65. Curvas del motor [33] .....	101
Figura 66. Plano de la bomba [33] .....	103
Figura 67. (a) Plano del motor; (b) Croquis del diagrama de cableado [33].....	105
Figura 68. Croquis general de la instalación [33].....	106
Figura 69. (a) Coste ciclo de vida 10 años de funcionamiento; (b) Periodo de amortización [33] .....	107
Figura 70. Generador Atlas Copco [34] .....	108
Figura 71. Caseta de hormigón prefabricada.....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie, pendiente y uso de las subparcelas.....	4
Tabla 2. Coordenadas geográficas y elevación del sondeo. <i>Fuente: Google Earth Pro</i> .....	5
Tabla 3. Valores de $ab$ , y $K$ en el término municipal de Jaén .....	16
Tabla 4. Coeficiente del terreno donde se perforará.....	16
Tabla 5. Valor del coeficiente $S$ en la zona de estudio .....	17
Tabla 6. Parámetros sísmicos del área de estudio .....	17
Tabla 7. Datos históricos del tiempo en Jaén [9], del 1991 al 2021.....	19
Tabla 8. Temperaturas medias recogidas en la estación meteorológica de Jaén.....	19
Tabla 9. Precipitaciones medias recogidas en la estación meteorológica de Jaén .....	20
Tabla 10. Evapotranspiración potencial media recogidas en la estación meteorológica de Jaén.....	21
Tabla 11. Porosidad, permeabilidad (m/día) y transmisividad ( $m^2/día$ ) [12] .....	29
Tabla 12. Extracción de agua subterránea en $hm^3/año$ [10] .....	31
Tabla 13. Utilización de las descargas subterráneas naturales [10] .....	32
Tabla 14. Piezómetro representativo [11].....	32
Tabla 15. Caracterización piezométrica del acuífero [11].....	32
Tabla 16. Tratamiento estadístico de los parámetros medidos [12] .....	39
Tabla 17. Conductividad aceptada para agua de riego [12] .....	40
Tabla 18. Valores de resistividad por material de referencia [19].....	43
Tabla 19. Valores de resistividad medidos por estratos .....	43
Tabla 20. Columna de materiales .....	44
Tabla 21. Recomendaciones empíricas de entubación para la captación .....	48

Tabla 22. Entubado del fabricante GWE PESA Engineering [32].....	49
Tabla 23. Características técnicas del martillo de fondo escogido [25] .....	53
Tabla 24. Especificaciones técnicas de la broca de perforación escogida [25].....	54
Tabla 25. Especificaciones técnicas del varillaje .....	54
Tabla 26. Especificaciones técnicas del compresor.....	58
Tabla 27. Especificaciones técnicas de la perforadora Segoqui 21 [24] .....	60
Tabla 28. Estratos y su profundidad encontrados a lo largo de las catas .....	73
Tabla 29. Excavabilidad y Ripabilidad de la columna estratigráfica [21].....	74
Tabla 30. Cata 1: Resultados del análisis granulométrico.....	74
Tabla 31. Cata 1: Resultados límites de Atterberg .....	75
Tabla 32. Cata 2: Resultados del análisis granulométrico.....	76
Tabla 33. Cata 2: Resultados límites de Atterberg .....	77
Tabla 34. Cata 3: Resultados del análisis granulométrico.....	78
Tabla 35. Cata 3: Resultados límites de Atterberg .....	79
Tabla 36. Calendario anual de riego por olivo .....	85
Tabla 37. Características Elementos auxiliares en la instalación de bombeo .....	88
Tabla 38. Longitudes equivalentes de las pérdidas de carga de cada elemento auxiliar y de la tubería.....	90
Tabla 39. Datos de predimensionamiento .....	97
Tabla 40. Especificaciones generales del equipo de bombeo.....	99
Tabla 41. Especificaciones generales de la bomba.....	102
Tabla 42. Especificaciones generales del motor.....	104
Tabla 43. Potencia demandada en la instalación .....	108

Tabla 44. Especificaciones técnicas del generador Atlas Copco modelo QES 20 .....	109
Tabla 45. Parámetros de dimensionamiento [35] .....	111
Tabla 46. Especificaciones requeridas [35] .....	111
Tabla 47. Especificaciones cable de 16 mm <sup>2</sup> [35] .....	112

## **RESUMEN**

Este trabajo fin de grado tiene como objetivo desarrollar un estudio técnico sobre la viabilidad de realizar un sondeo de captación de agua subterránea y construir una balsa para el abastecimiento de usos agrícolas en la provincia de Jaén. La región se caracteriza por un clima cálido y seco proclive a largos periodos de sequías, lo que dificulta el crecimiento de los cultivos y hace necesario buscar alternativas al riego tradicional.

Para llevar a cabo este estudio se ha realizado un análisis de los recursos hídricos disponibles en la zona, así como un estudio geológico del subsuelo para determinar la presencia y calidad del agua subterránea. Además, se ha evaluado la viabilidad geotécnica, normativa y ambiental tanto de la captación de agua subterránea como de la construcción de la balsa para el almacenamiento temporal del agua para el riego, proponiendo varias opciones de diseño de la misma en función a las condiciones de implantación.

## **ABSTRACT**

This thesis aims to develop a technical study on the feasibility of carrying out a groundwater capture well and building a storage tank for agricultural water supply in the province of Jaén. The region is characterized by a warm and dry climate prone to long periods of drought, which makes the growth of crops difficult and necessitates the search for alternatives to traditional irrigation.

To develop this study, an analysis of the available water resources in the area was carried out, as well as a geological study of the subsoil to determine the presence and quality of groundwater. In addition, the geotechnical, normative, and environmental feasibility of both groundwater capture well and the construction of the tank for temporary water storage for irrigation were evaluated. For that purpose, several design options based on implementation conditions were considered.

## **1. MEMORIA**

### **1.1. Antecedentes**

El presente documento ha sido realizado con el propósito de superar el “Trabajo Fin de Grado” correspondiente a la titulación de Ingeniería de Tecnologías Mineras. Es por ello que su objetivo será el de cumplir con el carácter de dicha asignatura obligatoria, que no es otro más que el de mostrar las competencias y conocimientos adquiridos a lo largo de los últimos años en dicha rama de la ingeniería.

El estudio técnico ha sido redactado íntegramente por Carlos Manuel Tapia Parra, actual alumno de la Escuela Politécnica Superior de Linares (Universidad de Jaén) de la titulación correspondiente al Doble Grado de Ingeniería Civil e Ingeniería en Tecnologías Mineras (especialidades en Explotación de Minas; y Sondeos y Prospecciones Mineras).

De la correspondiente tutorización del estudio técnico se han encargado los profesores D. Antonio José Civanto Redruello y D. Francisco José Pérez Latorre, profesores titulares de la Escuela Politécnica Superior de Linares, pertenecientes al área de prospección e investigación minera y mecánica de fluidos respectivamente, ambas englobadas a su vez dentro del departamento de Ingeniería Mecánica y Minera.

### **1.2. Justificación y objeto del estudio técnico**

El dueño de una finca situada en el término municipal de Jaén de uso agrícola ha decidido llevar a cabo un sistema de regadío para la plantación de olivos de su finca.

Para ello, el ingeniero de Carlos Tapia ha propuesto la realización de un sondeo de captación de agua subterráneas por rotoperCUSión con circulación directa a cielo abierto, que extraerá el agua mediante una bomba; y la construcción de la correspondiente balsa para almacenar el agua destinada al posterior riego por goteo de los olivos, la cual estará ubicada en la misma finca.

El principal objetivo de tal estudio técnico no es otro más que el de garantizar el suministro de agua al olivar, especialmente durante la época estival, donde la comunidad autónoma de Andalucía presenta un mayor déficit hídrico, debido a una climatología caracterizada por escasas e irregulares precipitaciones, lo que dificulta la disponibilidad de agua. Con la ejecución de un sondeo y una balsa para el almacenamiento del agua para riego se espera tener una mayor disposición de agua, solventando esta problemática.

Para la propia realización del sondeo será obligatorio la autorización previa administrativa emitida por la autoridad minera correspondiente, siendo la misma la delegación provincial de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, de la Junta de Andalucía, de acuerdo con las Instrucción Técnica Complementarias 06.0.07, “Prospección y captación de aguas subterráneas”, y 06.0.01 “Prescripciones generales” del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, (B.O.E. 2 de Abril de 1.985) [1].

Importante destacar que el sistema de riego de olivar se realizará mediante sistema por goteo. Aunque este únicamente aparecerá ligeramente desarrollado en el presente documento (a fin de dimensionar correctamente la balsa), puesto que se escapa del objeto de estudio.

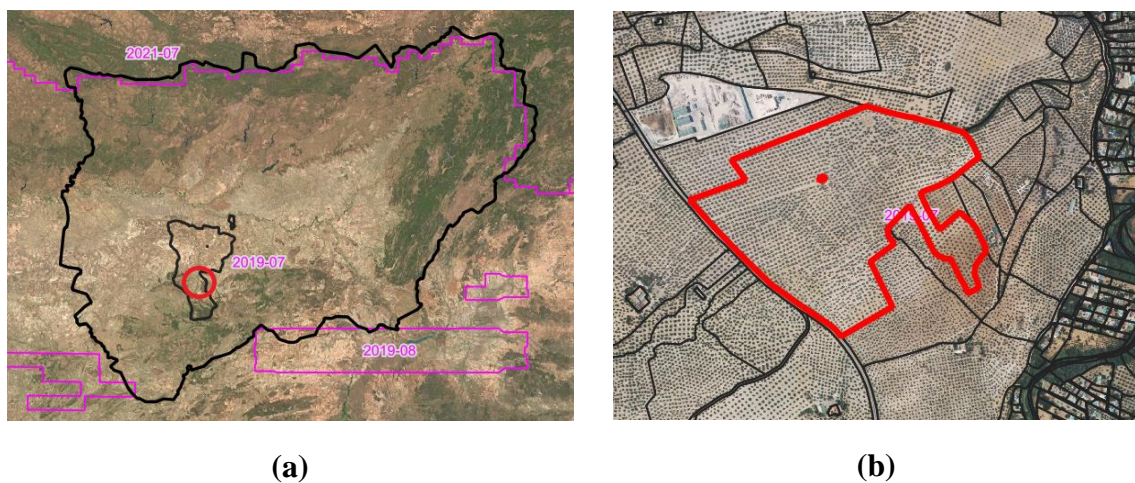
A la hora de desarrollar el estudio técnico se tomará como referencia la siguiente metodología:

- Información geológica de la zona.
- Estudios e información experimental previa.
- Existencia de otros sondeos, acuíferos, manantiales o pozos.
- Catálogos de fabricantes.
- Conocimientos ingenieriles adquiridos a lo largo de los estudios universitarios.

De tal manera que pudiera no ser necesaria la aplicación de métodos geofísicos tales como el SEV “Sondeo Eléctrico Vertical”.

### 1.2.1. Situación geográfica

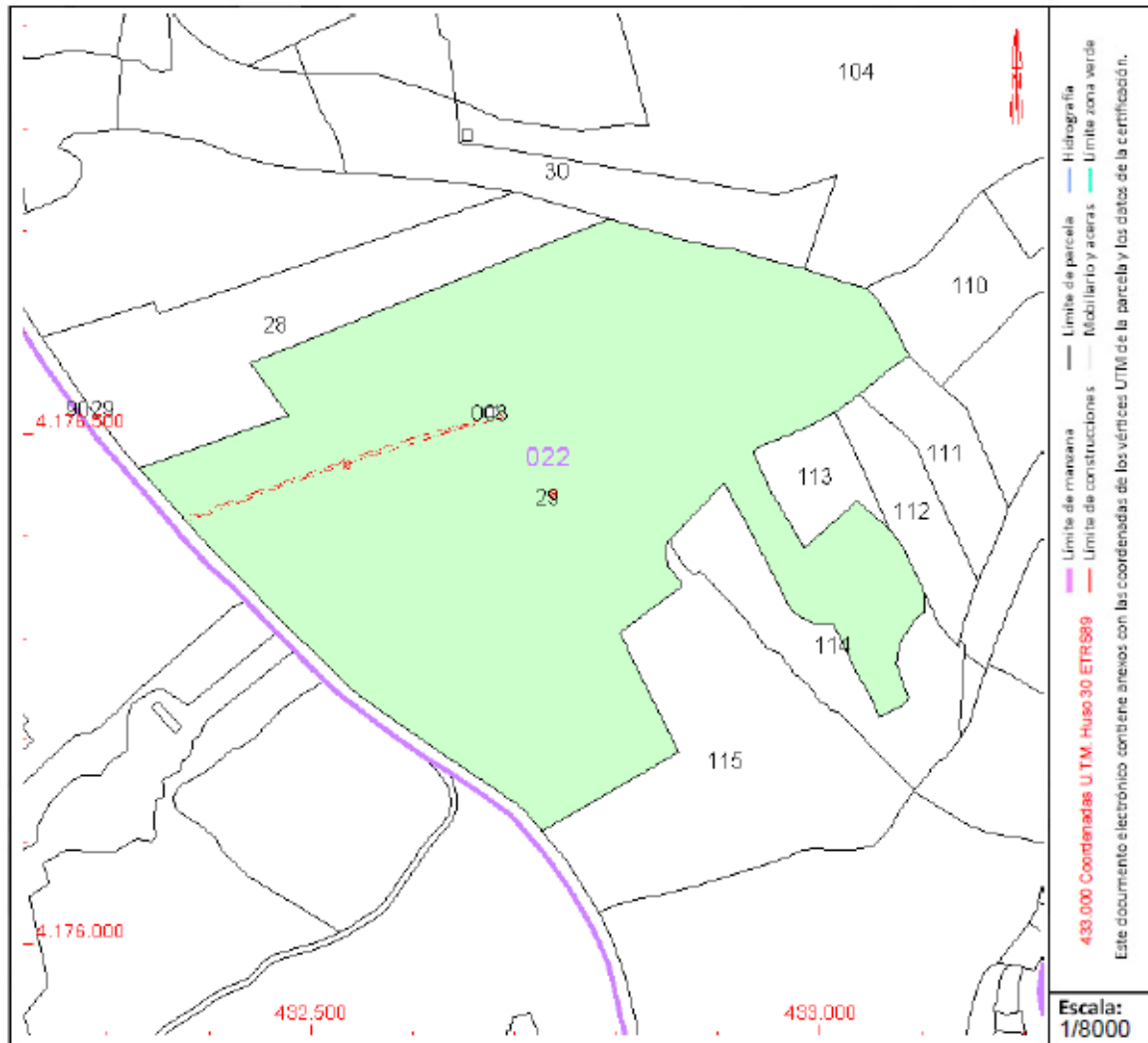
La zona de estudio se encuentra en la provincia de Jaén, España. Como es apreciable en la Figura 1a. A su vez la finca está situada en el centro del T.M. de Jaén (Figura 1).



**Figura 1. Situación Geográfica de la finca: (a) En T.M. de Jaén; (b) Dentro de T.M. de Jaén. Trabajado con QGIS [2]**

### 1.2.2. Situación topográfica

La finca se compone únicamente de la Parcela 29, Polígono 22, de referencia catastral 23900A022000290000SP. En la Figura 2 [3] se aprecia la forma de la misma. Esta se divide a su vez en 2 subparcelas o recintos.



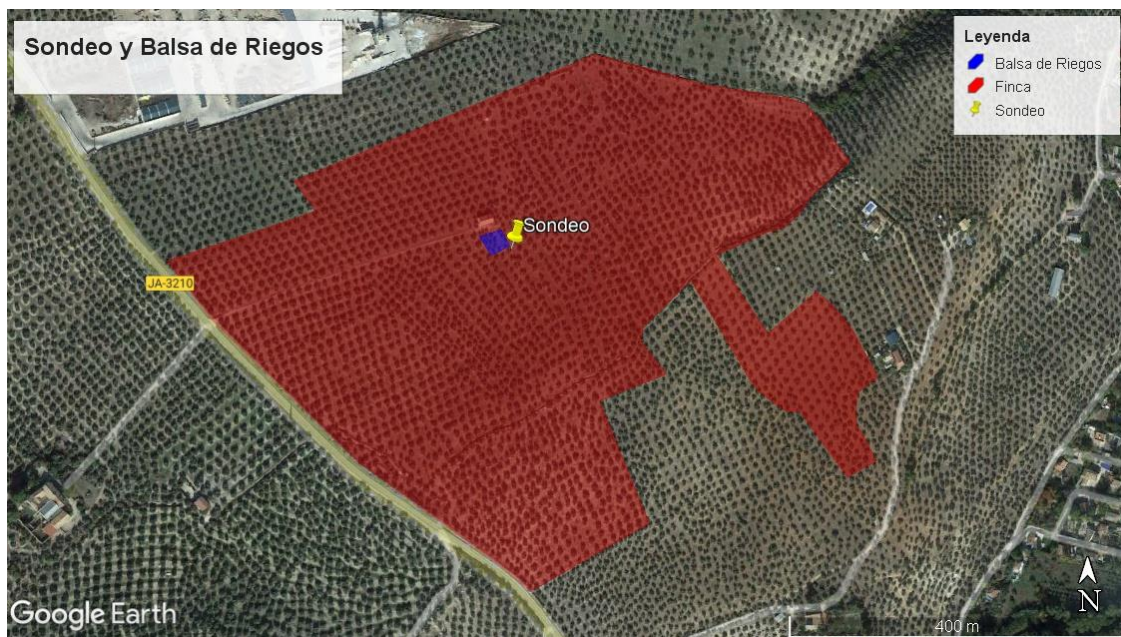
**Figura 2. Subparcelas que componen la finca**

La superficie total de la parcela es de 24,755 ha. En la Tabla 1 se muestra a su vez las características principales de estas subparcelas a y b [3] [4]:

**Tabla 1. Superficie, pendiente y uso de las subparcelas**

Subparcela	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Uso
<b>a</b>	24,668	5,50	Oliver
<b>b</b>	0,086	5,30	Edificaciones

La captación de agua se realizará en la subparcela a, cuya pendiente máxima es de 5,50 %, con lo cual no se tomarán medidas adicionales a priori. La balsa de riegos a su vez irá situada a una distancia de 10 metros respecto al sondeo (Figura 3 y Plano 1/8); y ambas instalaciones se sitúan a la misma cota. Esta cota no es la máxima posible de la parcela, con lo que no se optimizaría el futuro sistema de riego. No obstante, al existir previamente un camino hacia la casa de campo situada dentro de la subparcela b, se ha decidido aprovecharlo para un mejor acceso de la maquinaria. Además, el propietario enfatizó su voluntad de evitar en la medida de lo posible perder olivos.



**Figura 3. Croquis de sondeo y balsa de riegos sobre sondeo. Realizado en Google Earth Pro.**

En la Tabla 2 a su vez se reflejan las coordenadas geográfica y elevación de la zona donde se ejecutará el sondeo:

**Tabla 2. Coordenadas geográficas y elevación del sondeo. Fuente: Google Earth Pro**

	<b>GEOGRÁFICAS</b>	<b>U.T.M. 30 (ETRS – 89)</b>
<b>COORDENADAS</b>	Latitud: 37°43'59.60"N	X = 432680,81
	Longitud: 3°45'50.37"O	Y = 4176490,83
<b>COTA MEDIA</b>	473 m	

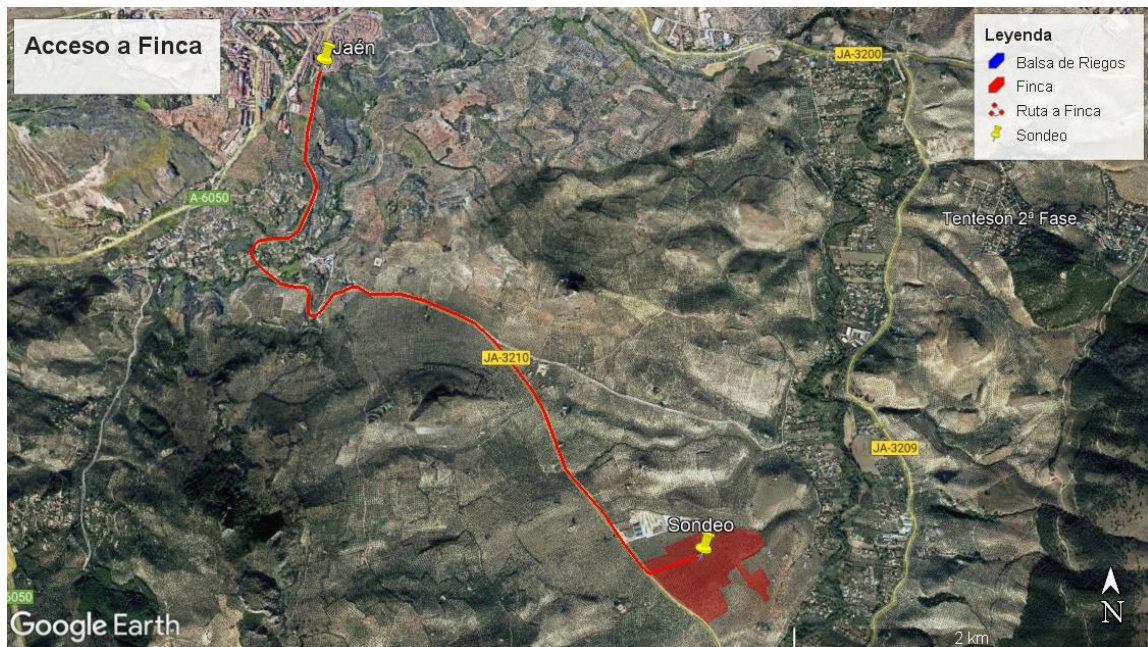
### 1.2.3. Acceso a finca e instalaciones

El acceso a la finca se realiza desde el sur de Jaén capital. Se debe tomar la carretera provincial JA-3210 durante 5 km. Como punto de referencia se ha escogido la empresa llamada “Materiales De Construcción El Quico S.L., la cual se ubica 300 metros antes de la finca.



**Figura 4. Acceso a camino. Fuente: Google earth pro**

Tomando la dirección izquierda que se muestra en la Figura 4, es decir, el camino asfaltado, se llega hasta la que será la zona de trabajo dentro de la finca en unos 300 metros. En la Figura 5 y el Plano 2/8 se representa un croquis general de la ruta a seguir.



**Figura 5. Croquis de la ruta de acceso. Google earth pro**

#### *1.2.4. Afeción a instalaciones existentes y consideraciones previas*

Finalmente, es importante añadir que se han comprobado ciertos requisitos previos fundamentales. Para ello se ha recurrido a la base de datos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Geoportal de la CHG (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir) [5], de la que se ha obtenido la Figura 6 y parte de los siguientes datos:

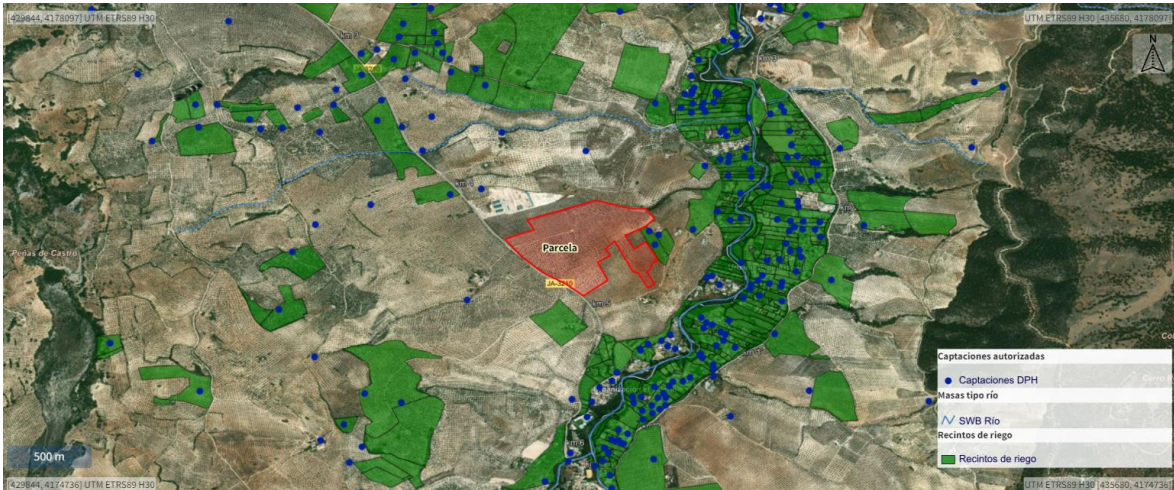
- No hay presencia de sondeos a distancias inferiores a 100 metros (Figura 6).
- Existe una carretera convencional adyacente a la finca. La zona de limitación a la edificabilidad de la Ley de Carreteras dice que no se podrá edificar a 25 metros de la misma. No obstante, el sondeo y las instalaciones superan sobradamente dicha distancia.
- La zona de estudio no está ubicada en ningún parque o reserva natural. No afecta a la red Natura 2000, que es una red europea de ecoterritorios en Zonas Especiales de Conservación (ZEC) cuyo establecimiento vino por parte de la conocida como Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CEE) del Consejo, al objetivo de conservación de la fauna y vegetación de los hábitats naturales.
- Tampoco hay presencia de líneas de alta tensión [4] que puedan interferir con la maquinaria.

Finalmente, la zona de estudio se sitúa en la unidad hidrogeológica delimitada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en el acuífero de San Cristóbal.

Por otra parte, se confirma que la parcela no forma parte de un recinto de riego en la Figura 6.



(b)



(b)

**Figura 6. (a) Croquis general para consideraciones previas [5]; (b) Detalle de captaciones próximas y recintos de riego**

### 1.3. Estudio y obras a realizar

Este documento contiene todos los estudios a tener en cuenta para la realización del sondeo de captación de aguas subterráneas, a la par que la implantación de un depósito de regulación. Los estudios contemplados han sido referenciados correctamente en el Anejo 2.9 de bibliografía, y son principalmente:

1. Estudio geológico.
2. Estudio de hidrogeología.
3. Estudio hidrogeoquímico.
4. Estudio geofísico y litológico.
5. Estudio geotécnico.
6. Estudio de la climatología de la zona de estudio.
7. Elección y definición del método de perforación.
8. Diseño de la entubación.
9. Cálculos hidráulicos.
10. Diseño del equipo de bombeo.
11. Diseño de la instalación eléctrica.
12. Diseño y ejecución del depósito de regulación.
13. Posibles afecciones ambientales o a otras instalaciones.

#### **1.4. Documentos que componen el estudio técnico**

Al tratarse de un estudio técnico, este trabajo fin de grado contará con los siguientes tres documentos:

1. Memoria
2. Anejos
3. Planos

#### **1.5. Estudio geológico**

El contexto geológico de la zona de estudio se obtiene de la hoja de Jaén, número 947 englobada en los mapas geológico de España a escala 1/50000 [6].

##### *1.5.1. Geología y tectónica regional*

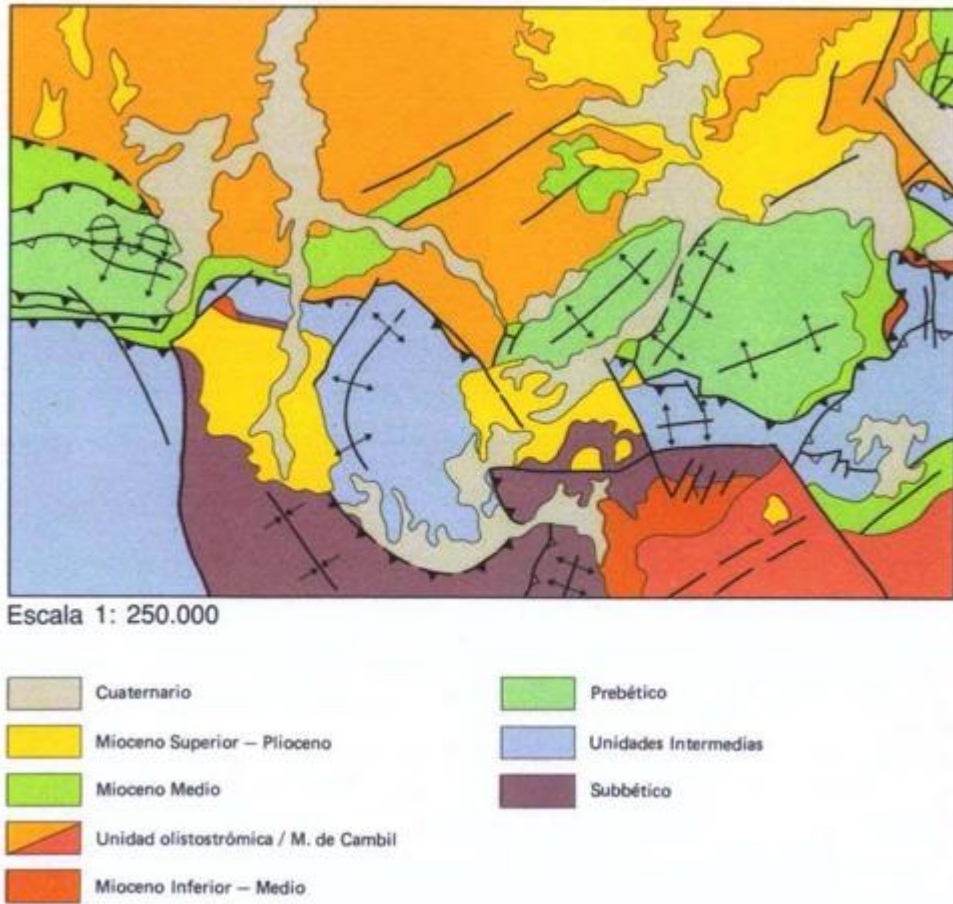
La zona de estudio se sitúa en las Cordilleras Béticas [6], específicamente en la parte septentrional, en donde se encuentra el límite de las conocidas como Zonas externas con la Depresión del Guadalquivir.

El Orógeno Bético constituye el extremo occidental de las cadenas alpinas. Y a la par que la parte norte de la zona africana es una zona inestable y afectada por fenómenos tectónicos durante el Neógeno.

Se diferencian las Zonas Internas de las Zonas Externas, en contraste con cordilleras de desarrollo geosinclinal. En las mismas se puede discernir una parte fuertemente deformada y metamorfizada (Interna), y otra parte que se encuentra plegadas, y en ocasiones con estructura en forma de manto de corrimiento (Externa).

Las Zonas Externas se componen de sedimentos de edades comprendidas entre el Terciario y el Trías. Se depositaron a lo largo del margen meridional del Macizo Hespérico, en sucesión a la Cordillera Ibérica. Las Zonas Internas vienen a representar un bloque exótico, de evolución geológica independiente a la del margen Ibérico.

Como se aprecia en la Figura 7, las Zonas Externas se suelen dividir en dos grandes Zonas: Prebético y Subbético. Aunque bien es cierto que algunos autores nombran una tercera más, Unidades Intermedias; que se localizan entre el Prebético y Subbético.



**Figura 7. Esquema tectónico (IGME [6])**

La zona del Prebético se localiza próxima a costas, es por ello que se asocia a sedimentos marinos someros y/o continentales.

Dependiendo de las facies de los sedimentos del Paleógeno y el Cretácico, se divide en: Interno, más próximas a áreas de cuenca abierta; Externo, que representa a los sectores más próximos a la costa.

El Subbético se encuentra al Sur del anterior y está formado por facies pelágicas, de profundidad, durante gran parte del Jurásico y todo el Cretácico.

Considerando las características sedimentarias durante el Jurásico, se divide en tres: Externo, Medio e Interno (va desde Norte a Sur).

El Subbético Externo y el Interno, muestran sectores en los que se registró una pequeña subsidencia a lo largo del Jurásico, siendo especialmente normales las facies condensadas. El Subbético Medio se localizaría entre los anteriores. En el mismo se dio una gran tasa de

sedimentación, con facies de carácter margoso, y donde se registra la salida de rocas volcánicas.

En las Zonas externas se aprecia una sedimentación continua que va hasta el Mioceno Inferior (Burdigaliense inferior), encontrando solamente discordancias de carácter local.

En la misma época colisionaron las Zonas Internas y Externas, generándose cambios paleogeográficos y perdiendo con ello uniformidad la “Cuenca Bética”.

A lo largo del Langhiense superior se genera una tectónica transtensiva de componente OSO, que fragmenta las Zonas Externas en bloques, creando pronunciadas fosas entre ellas. Estas cuencas son rellenadas por vertidos de carácter gravitatorio, de materiales margosos de poca consistencia, desde los relieves adyacentes, y por grandes extrusiones de materiales triásicos.

De estos procesos surgen en la Cordillera cuencas marinas con distinta evolución.

#### *1.5.2. Geología de la zona de estudio*

En la Figura 8 se ha situado el sondeo sobre el Mapa Geológico De España a Escala 1:50000 del IGME [6] de Jaén, a fin de conocer las capas de material que atraviesa la perforación del sondeo.

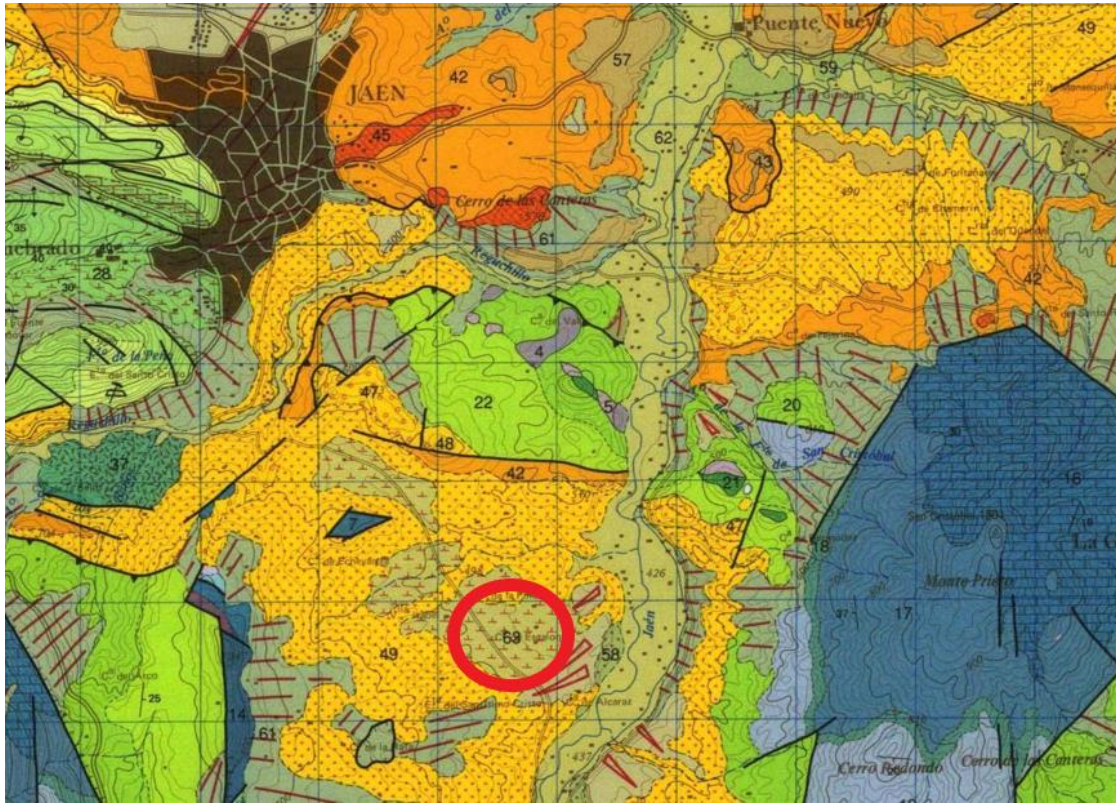
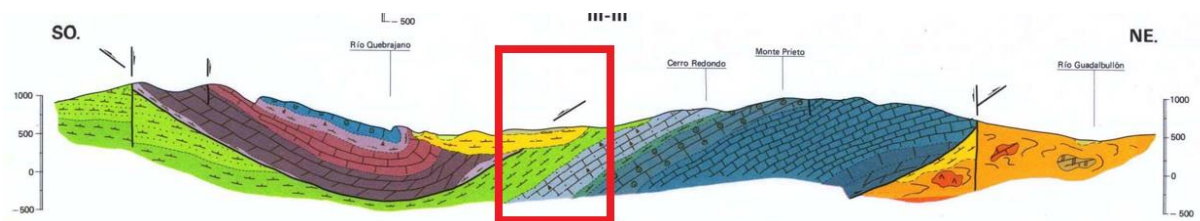


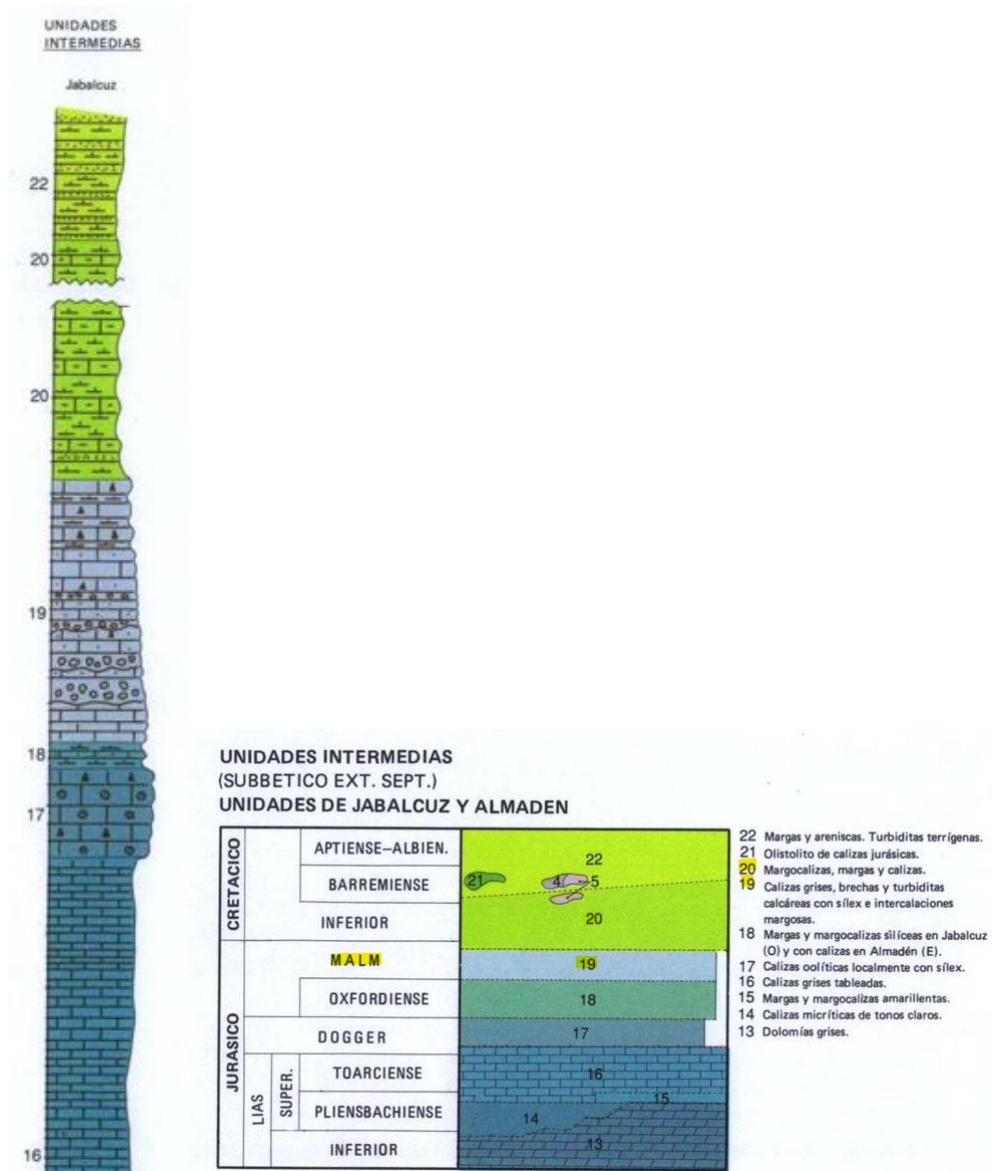
Figura 8. Localización de sondeo en mapa geológico de la región (IGME [9])

Teniendo en cuenta la Figura 8, a la par del corte geológico mostrado en la Figura 9a, y apoyándonos en ambas leyendas. Una primera estimación de la columna estratigráfica quedaría a priori de la siguiente manera:

1. **Encostramientos superficiales:** Desde la cota  $\pm 0,00$  hasta  $\pm 5,00$  m Localizados normalmente sobre materiales detríticos antiguos. Estas son resultado de un depósito residual debido a la alteración edáfica del substrato, que litológicamente está compuesto de niveles discontinuos de caliza de alta porosidad de tonos ocre y blanquecinos. Su origen está muy posiblemente ligado a un depósito pretérito de naturaleza árida.
2. **Facies de margas grises y blancas:** De la cota  $\pm 5,00$  hasta  $\pm 55,00$  m Forman afloramientos de escasa continuidad, es difícil conocer su espesor ya que los niveles superiores están erosionados. Están formados por margas calcáreas blancas, con laminaciones paralelas debido a la presencia de limos silíceos.
3. **Facies de Calizas grises, brechas y turbiditas calcáreas con sílex e intercalaciones margosas.** De la cota  $\pm 55,00$  hasta  $\pm 355,00$ . Es un estrato del Malm.



(a)



**Figura 9. Corte Geológico III – III' [6]: (a) Localización sondeo en el corte; (b) Columna estratigráfica y leyenda.**

Tal y como se comentaba en el subapartado 1.5.1. La zona de estudio se sitúa en Zona Externa, con lo que se encuentra un contexto geológico bastante complejo y caracterizado por fuertes plegamientos que llegan en ocasiones a tener forma de manto de corrimiento. Esto es confirmado por el corte geológico de la Figura 9.

Lo que sí está claro es que entre el Subbético Medio e Interno se dio una gran tasa de sedimentación de facies de carácter margoso del Neógeno situadas sobre el subbético.

Visualice el Plano 3/8 para acceder a todos los detalles descritos en este subapartado.

### 1.5.3. Sismicidad

Para cumplir con la “Norma de Construcción Sismorresistente, Parte General y Edificación (NCSE – 02)” [7], se va a llevar a cabo un estudio sísmico de la zona de estudio.

Esta norma es de obligado cumplimiento y aplicación en construcciones distintas de la edificación siempre que no exista normativa específica Sismorresistente. En el caso de estudio se trata de una construcción clasificada en la norma como importancia moderada. Es decir, con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto ocasione víctimas, interrumpa un servicio primario o pueda producir daños económicos significativos.

En estos casos, según el apartado C.1.2.3. de Criterios de aplicación de la norma, es el proyectista el que decide la aplicación de la norma. En el caso de estudio se aplicará, puesto que este documento tiene un fin académico.

En la Figura 10 se muestra el mapa de peligrosidad sísmica propuesto por la norma para los terremotos de proyecto, el cual es parte del artículo 2.2. de la norma NCSE – 02.

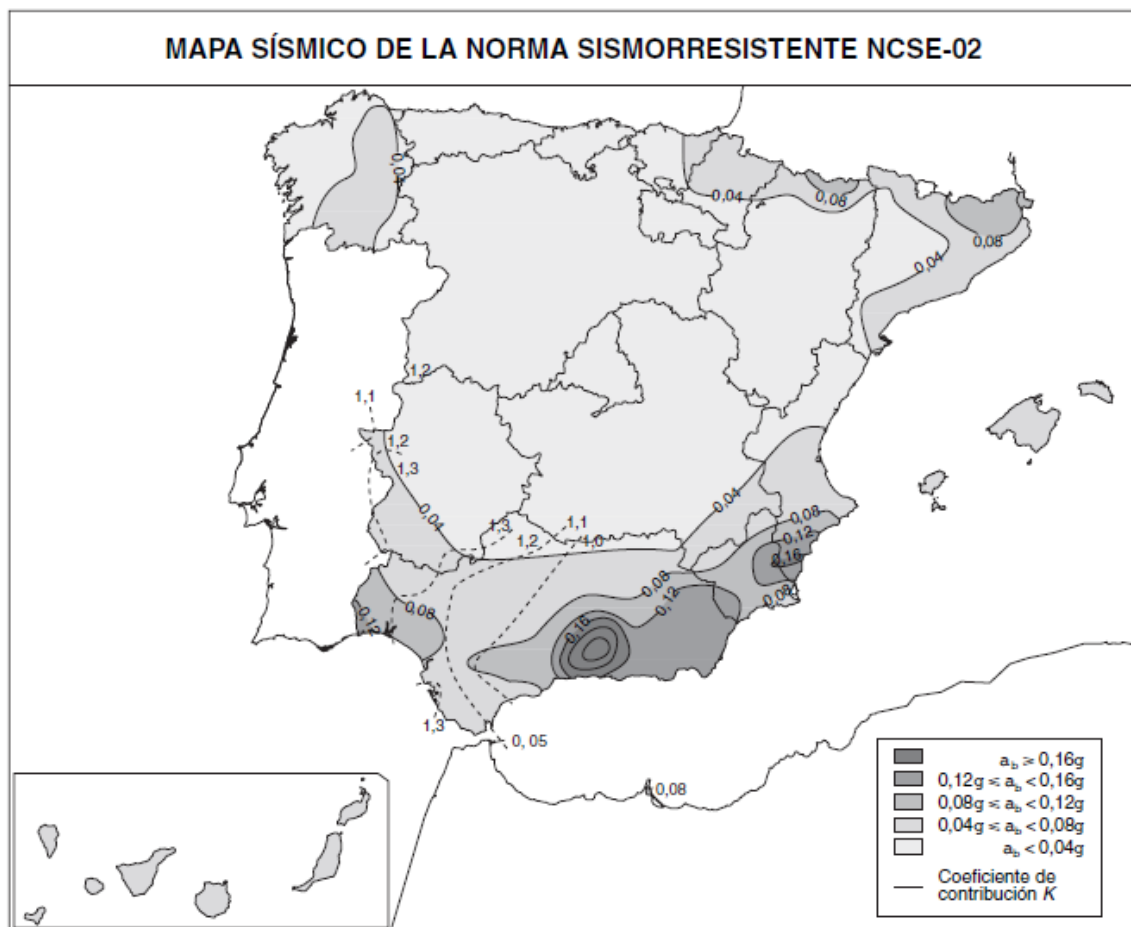


Figura 10. Mapa de Peligrosidad Sísmica

Para una estimación más exacta. Se hace uso de la lista por municipios, la cual es parte del anejo 1 de la norma. En ella se estiman tanto los valores  $a_b$ , de aceleración sísmica básica como los coeficientes de contribución, K (Tabla 3).

**Tabla 3. Valores de  $a_b$ , y K en el término municipal de Jaén**

Municipio	$a_b/g$	K
Iznatoraf	0,05	(1,0)
Jabalquinto	0,05	(1,0)
<b>Jaén</b>	<b>0,07</b>	<b>(1,0)</b>
Jamilena	0,07	(1,0)
Jimena	0,06	(1,0)
Jódar	0,06	(1,0)
Lahiguera	0,05	(1,0)
Larva	0,07	(1,0)
Linares	0,05	(1,0)
Lopera	0,05	(1,0)
Lupión	0,06	(1,0)
Mancha Real	0,07	(1,0)

De la Expresión (1) se obtiene  $a_c$ , la aceleración sísmica de cálculo.

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b \quad (1)$$

Para ello, es necesario definir el tipo de terreno. Esta parte se refiere a las características geotécnicas del suelo (Artículo 2.4.). La zona estudio se sitúa sobre un terreno Tipo 3, formado por suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme. La velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla está en el intervalo de  $400 \text{ m/s} \geq v_s > 200 \text{ m/s}$ . Al mismo se le asigna un coeficiente de terreno, C de 1,6 (Tabla 4).

**Tabla 4. Coeficiente del terreno donde se perforará**

Tipo de terreno	Coeficiente C
I	1,0
II	1,3
<b>III</b>	<b>1,6</b>
IV	2,0

Según el artículo C.2.2., la aceleración sísmica de cálculo  $a_c$ , tiene al igual que la aceleración básica dimensiones de aceleración. El coeficiente adimensional de riesgo  $\rho$ ,

expresa para el rango usual de probabilidades de superación de las acciones sísmica a considerar en el proyecto sismorresistente, valores proporcionales a las aceleraciones resultantes de cálculo de la peligrosidad sísmica. Esta toma el valor de 1, por estar ante una construcción de importancia moderada.

El coeficiente  $S$  también tiene en cuenta la diferencia de la aceleración sísmica en superficie respecto a la del suelo duro, dependiendo de capas de suelos blandos superficiales (Tabla C.2.1.). Mediante la Tabla 5, se estima fácilmente el valor de  $S$ , puesto que se conocen el resto de parámetros.

**Tabla 5. Valor del coeficiente  $S$  en la zona de estudio**

$\rho \cdot a_b$	$C = 1,0$	$C = 1,3$	$C = 1,6$	$C = 1,8$
$\leq 0,10 \text{ g}$	0,80	1,04	1,28	1,44
0,15 g	0,83	1,03	1,23	1,37
0,20 g	0,87	1,03	1,19	1,29
0,25 g	0,90	1,02	1,14	1,22
0,30 g	0,93	1,01	1,09	1,15
0,35 g	0,97	1,01	1,05	1,07
$\geq 0,40 \text{ g}$	1,00	1,00	1,00	1,00

Por tanto, se procede a resolver la Expresión (1):

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 1,28 \cdot 1 \cdot 0,07g = 0,09g$$

Finalmente, en la Tabla 6 se muestran los parámetros sísmicos del área de estudio

**Tabla 6. Parámetros sísmicos del área de estudio**

<b>Importancia de la construcción</b>	Moderado
<b>Aceleración sísmica básica (<math>a_b</math>)</b>	0,07g
<b>Tipo de terreno</b>	III
<b>Coefficiente de terreno (<math>C</math>)</b>	1,6
<b>Coefficiente adimensional de riesgo (<math>\rho</math>)</b>	1,0
<b>Coefficiente de amplificación del terreno (<math>S</math>)</b>	1,28
<b>Aceleración sísmica de cálculo (<math>a_c</math>)</b>	0,09

## 1.6. Climatología

El clima característico general de Jaén se define como mediterráneo continental [9], es decir templado y cálido. De veranos cortos, con altas temperaturas, áridos y despejados; mientras que los inviernos son fríos, largos, muy fríos y parcialmente nubosos. La clasificación de Papadakis [8] (Figura 11) estima el clima del término municipal de Jaén como “templado cálido” y con un régimen de humedad “mediterráneo húmedo”.

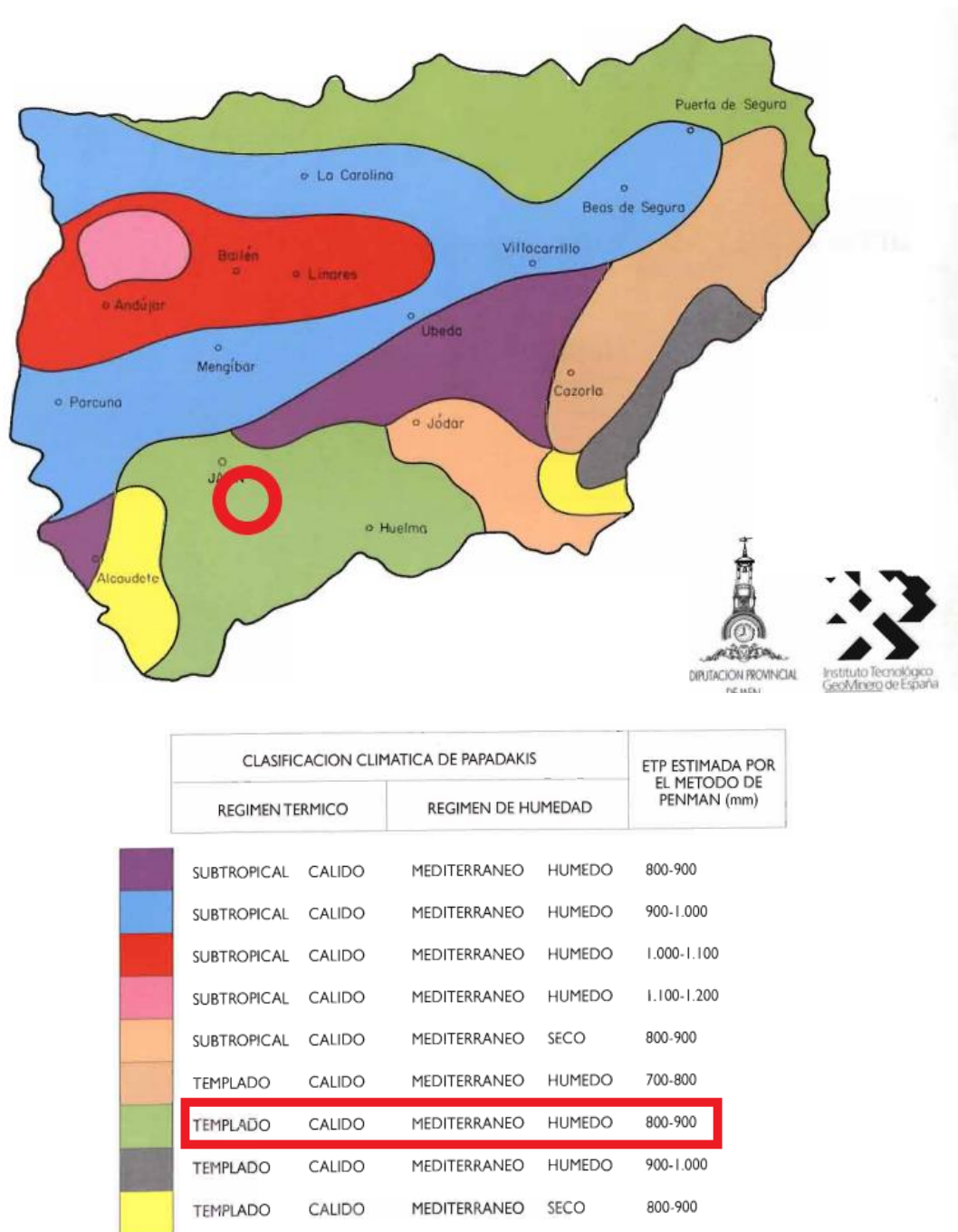


Figura 11. Clasificación del clima en el término municipal de Jaén

En el término municipal de Jaén la temperatura media anual es de 16,1 °C y la precipitación es de 610 mm al año. En la Tabla 7 aparecen recogidos los datos históricos de carácter más general, incluyendo la temperatura, precipitación, días lluviosos u horas de sol.

**Tabla 7. Datos históricos del tiempo en Jaén [9], del 1991 al 2021.**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	6.7	8	10.9	13.8	18.1	23.7	27.1	27	22.1	17.1	10.5	7.7
Temperatura min. (°C)	1.8	2.8	5.2	7.8	11.5	16.3	19.1	19.4	15.9	11.6	5.8	3.1
Temperatura máx. (°C)	11.8	13.3	16.6	19.3	23.9	30	33.9	33.7	28.1	22.6	15.4	12.8
Precipitación (mm)	59	57	64	71	58	24	5	13	45	70	72	72
Humedad(%)	76%	70%	65%	62%	54%	44%	35%	37%	49%	63%	71%	76%
Días lluviosos (días)	6	6	6	7	6	3	1	2	4	7	6	6
Horas de sol (horas)	6.3	7.0	8.2	9.4	11.1	12.7	13.0	12.1	10.4	8.5	6.9	6.3

Para la obtención de los datos climatológicos de este estudio se ha escogido la estación meteorológica de Jaén como la más representativa, puesto que es la más próxima al área de estudio.

### 1.6.1. Temperatura

En la Tabla 8 se recogen las temperaturas medias por mes de la estación meteorológica de Jaén [9].

**Tabla 8. Temperaturas medias recogidas en la estación meteorológica de Jaén**

MES	TEMPERATURAS MEDIAS (°C)
Enero	8,3
Febrero	9,7
Marzo	11,9
Abril	14,7
Mayo	18,4
Junio	23,4
Julio	27,5
Agosto	27,3
Septiembre	23,4
Octubre	17,6
Noviembre	12,4
Diciembre	8,8

Las temperaturas más bajas se registran en Enero con 8,3 °C de media. Y las más altas en Julio con 27,5 °C de media.

### 1.6.2. Pluviometría

En la Tabla 9 se comprueba que la precipitación anual media es de 592,6 mm. Habiendo una notoria variación entre el mes más húmedo (Marzo), y el mes más seco (Agosto).

**Tabla 9. Precipitaciones medias recogidas en la estación meteorológica de Jaén**

<b>MES</b>	<b>PRECIPITACIONES MEDIAS (mm)</b>
<b>Enero</b>	74,9
<b>Febrero</b>	79,5
<b>Marzo</b>	83,4
<b>Abril</b>	61,1
<b>Mayo</b>	48,7
<b>Junio</b>	20,2
<b>Julio</b>	4,3
<b>Agosto</b>	4,7
<b>Septiembre</b>	28,0
<b>Octubre</b>	54,3
<b>Noviembre</b>	57,3
<b>Diciembre</b>	76,2
<b>Anual</b>	592,6

### 1.6.3. Evapotranspiración potencial

Se han considerados valores obtenidos mediante el método de Thornthwaite. En la Figura 12 se aprecia el balance hídrico en Jaén [8]. Salta a la vista que durante el intervalo de meses entre Mayo y Octubre hay un claro déficit hídrico.

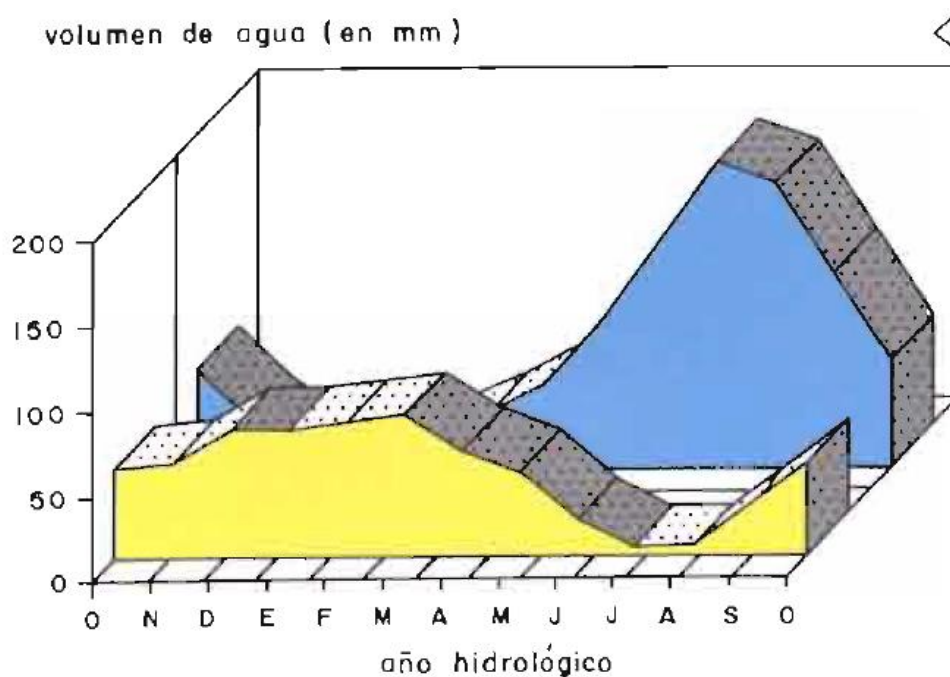


Figura 12. Clasificación del clima en el término municipal de Jaén

A continuación, en la Tabla 10 se recogen la Evapotranspiración potencial media (en *mm*) del término municipal de Jaén.

Tabla 10. Evapotranspiración potencial media recogidas en la estación meteorológica de Jaén

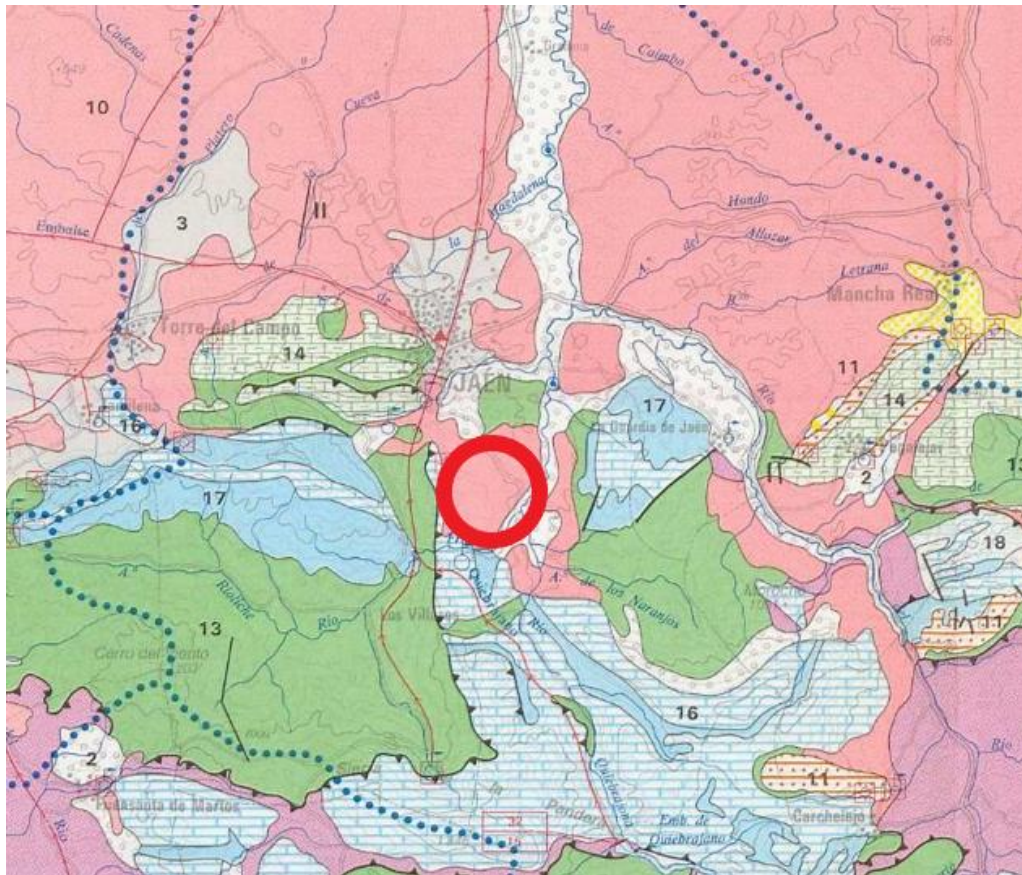
MES	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (en <i>mm</i> )
Enero	14,4
Febrero	18,6
Marzo	33,1
Abril	51,3
Mayo	86,4
Junio	133,5
Julio	179,6
Agosto	168,1
Septiembre	112,4
Octubre	62,2
Noviembre	28,9
Diciembre	15,6
Anual	904,0

Contrastando una precipitación media anual de 592,6 mm y una evapotranspiración potencial media anual de 904 mm, se deduce que el lugar donde se ubica la captación es claramente deficitario. Esto es lo que justifica la necesidad de una captación subterránea.

### 1.7. Estudio hidrogeológico del acuífero

Se ha recurrido al Mapa Hidrogeológico de España a escala 1/200000, hoja nº 77 de Jaén [10] a fin de comenzar a analizar la hidrogeología del área de estudio.

En la Figura 13 se muestra la localización del mismo:



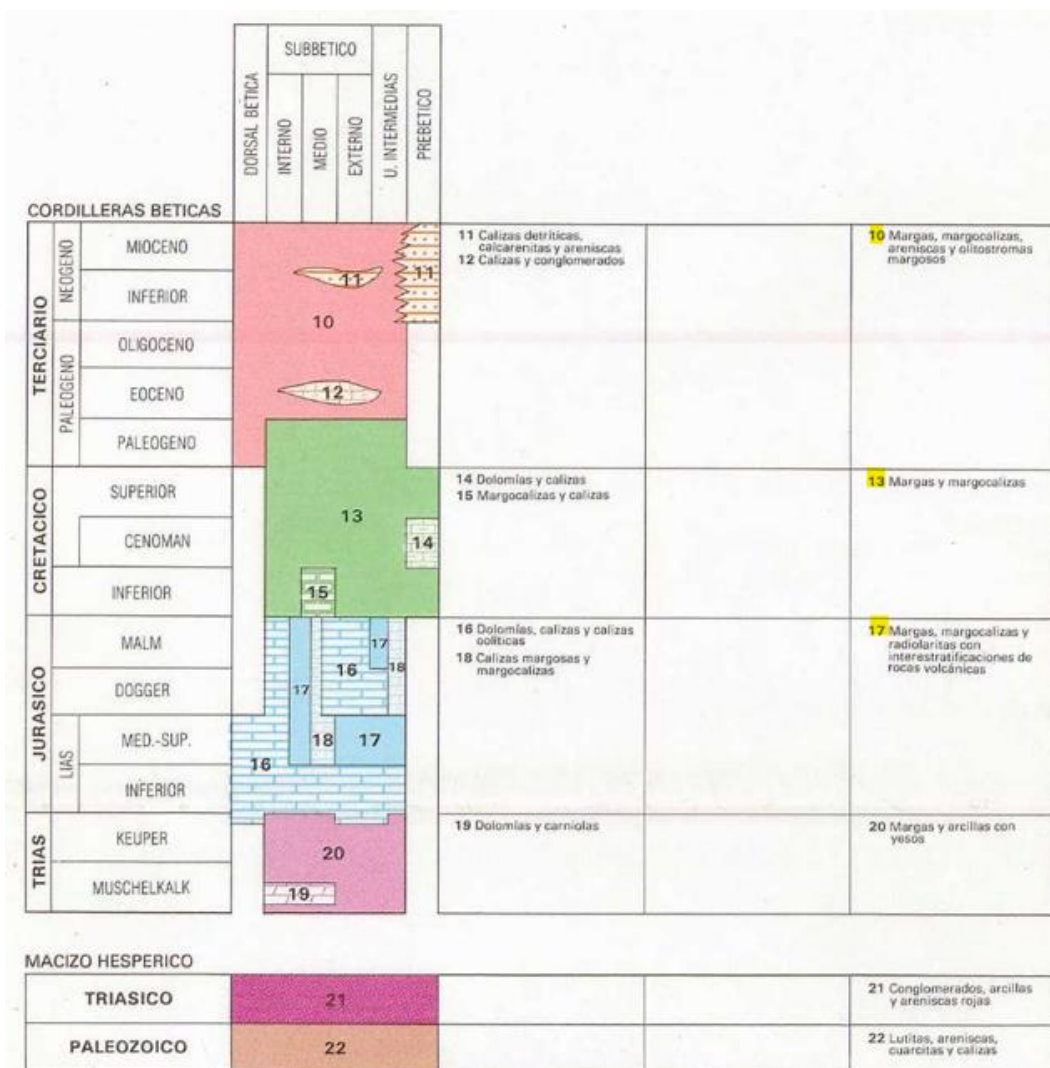


Figura 13. Situación de zona de estudio en el Mapa Hidrogeológico [10]

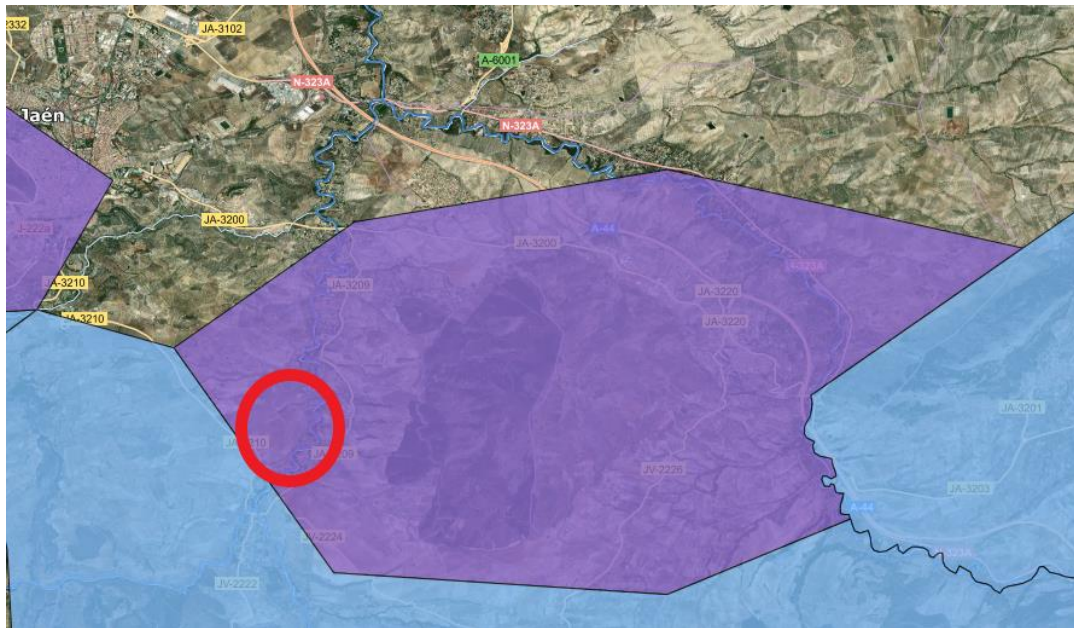
En un contexto generalista, el sondeo se localiza sobre un acuífero carbonatado [10]. La permeabilidad de este tipo de acuíferos es por fisuración. Los materiales más importantes desde el punto de vista hidrogeológico son calizas oolíticas. Estos materiales constituyen un karst maduro y presentan una elevada porosidad y permeabilidad secundaria como consecuencia de la fracturación y la disolución a favor de fracturas. En general podría asignárseles una porosidad del 2 al 4% y las transmisividades deducidas de ensayos de bombeo oscilan entre 500 y más de 25.000  $m^2/día$ . Consecuentemente los caudales puntuales obtenidos en sondeos están en general comprendidos entre 20 y 70  $l/s$ , y superan en ocasiones los 100  $l/s$ .

Otros materiales de interés son sobre los que está la parcela (Apartado 1.5.2.), estos son una capa de margas, margocalizas, areniscas y olitostromas margosos. Es decir, las calizas margosas, margocalizas y calizas nodulosas del Malm. Estas presentan por lo general

escasa karstificación (excepto en superficie), lo que unido a su fina estratificación y a su contenido de insolubles les confiere menos permeabilidad. Su porosidad eficaz suele ser inferior al 1-3% y la transmisividad oscila entre 50 y algunos centenares de  $m^2/día$ , con rendimientos más moderados (10 a 30  $l/s$ ).

La recarga de estos acuíferos proviene en su mayor parte de la infiltración directa de agua de lluvia y más ocasionalmente de la percolación de escorrentía superficial o aportes laterales de otras unidades próximas.

Para conocer exactamente el acuífero sobre el que se sitúa el sondeo, se ha hecho uso del visor de la confederación hidrográfica del Guadalquivir [5] (Figura 14). El visor informa acerca del nombre del mismo, acuífero de San Cristóbal; este es un acuífero fisurado incluido karst de moderada productividad.



**Figura 14. Capa de masas subterráneas en el visor de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir [5]**

El acuífero está conformado por el cerro de San Cristóbal, situándose al sureste de Jaén y al Oeste de la Guardia de Jaén [13].

### *1.7.1. Características geológicas del acuífero [11]*

Los materiales que componen la masa de agua subterránea 05.18 San Cristóbal pertenecen principalmente a una región paleogeográfica conocida como "unidad

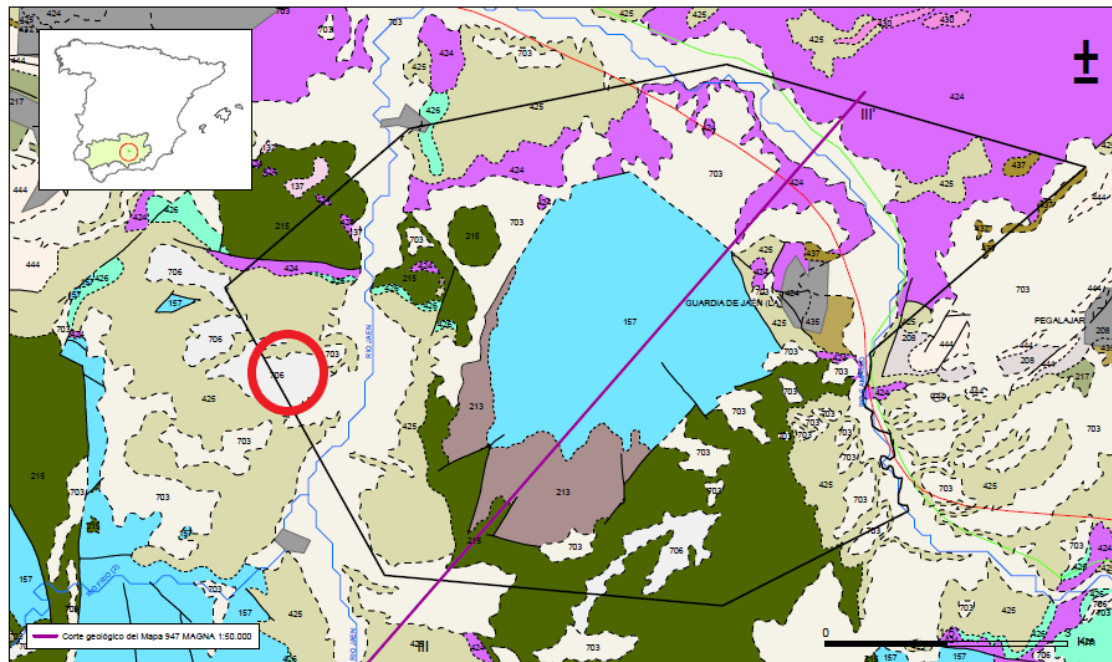
intermedia", la cual se caracteriza por las características litológicas y sedimentarias mixtas entre las propias regiones subbéticas y prebéticas.

El Cerro San Cristóbal es una estructura en forma de domo que es el resultado de al menos dos etapas compresivas con ejes de tensión claramente ortogonales. A nivel de detalle, hay una gran cantidad de pliegues de menor escala (muchos de ellos de decenas de metros o incluso más pequeños), correspondientes a etapas individuales. En algunas superficies estratificadas en la parte norte de la elevación, son visibles estructuras de "cajas de huevos".

De forma más general, cabe señalar que este macizo, al igual que su antiguo homólogo geográfico, Jabalruz, más al oeste, limita con la unidad Grajales-La Pandera. Este contacto de resistencia es claramente visible en el borde sur del área del Arroyo de Los Naranjos; También existen restos de material carbonatado de la unidad Grajales-Pandera, al norte del Cerro San Cristóbal, que se encuentra cubierto casi en su totalidad por depósitos postorogénicos. A su vez, este revestimiento impide la identificación inequívoca del contacto continuo del macizo de San Cristóbal con el bloque de Jaén, que es evidente en el caso de su homólogo (Jabalruz-La Grana).

El domo asimétrico que forma el cerro San Cristóbal desciende hacia el suroeste, apareciendo en esta dirección de forma cada vez más moderna. Los límites de la unidad geológica suelen ser fracturas distintivas donde los materiales más permeables se encuentran con las paredes impermeables y el techo de la estructura (Figura 15).

De este estudio geológico más detallado se entiende y confirma que el sondeo está situado sobre un depósito de Gravas, arenas y limos.

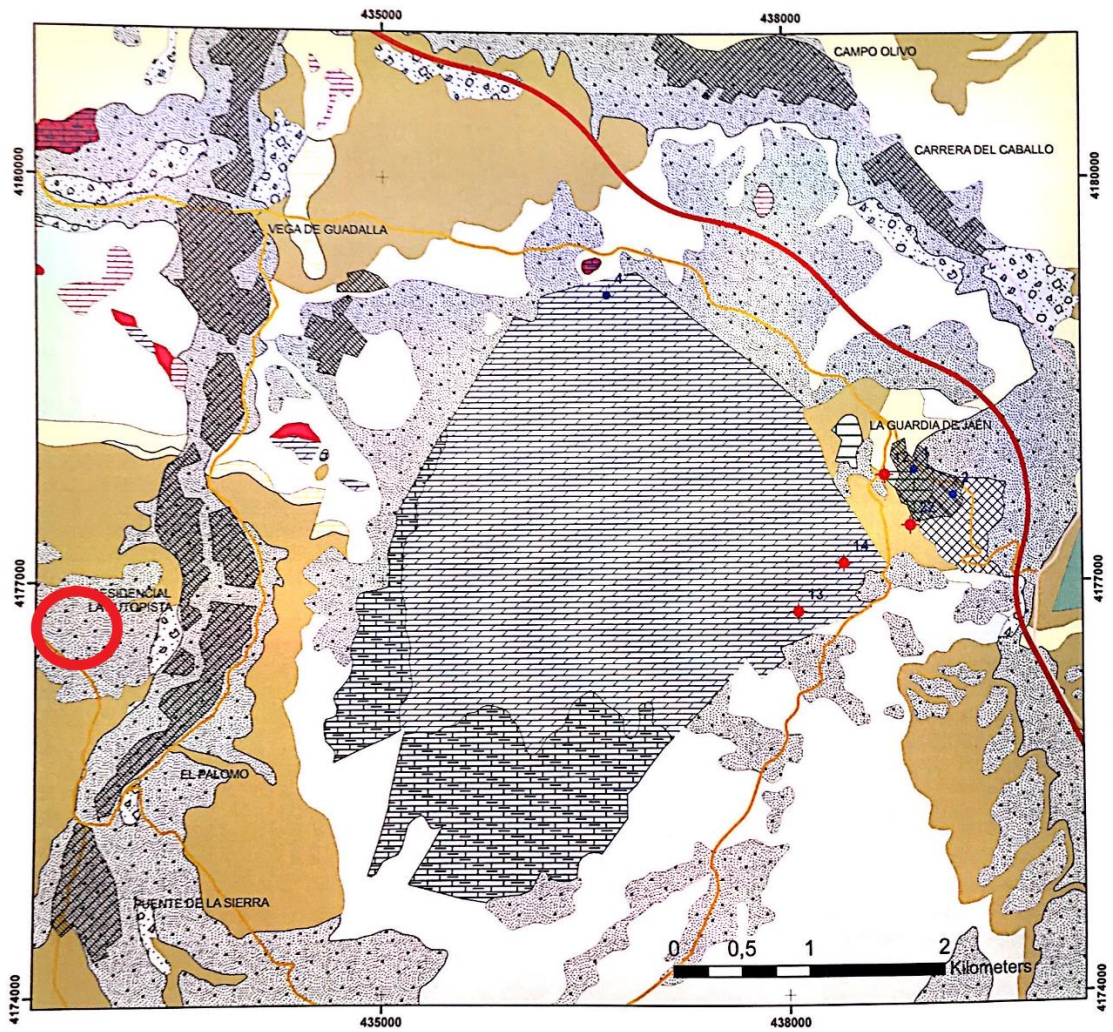


- 706** Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos princ.)
- 425** Areniscas silíceas hacia la base, y margas blancas a techo
- 703** Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glacia, piedemonte y superficies)
- 215** Margas y margocalizas, a veces con arenas
- 424** Unidad olistostrómica-tectonosómica
- 157** Dolomías, brechas dolomíticas, carnioles y calizas en bancos (Fm. Cortes de Tajuña)
- 213** Margas, margocalizas, radiolaritas y rocas volcánicas

**Figura 15. Mapa geológico del acuífero de San Cristóbal [5]**

#### *1.7.1.1. Hidrogeología del acuífero [12] [13]*

Como se aprecia en la Figura 16 el acuífero está constituido por una masa permeable de agua carbonatada debido a la fisuración y formación kárstica. Tiene un área expuesta permeable total de  $10 \text{ km}^2$ , de los cuales  $4 \text{ km}^2$  corresponden al acuífero representado por las calizas oolíticas de Dogger y  $6 \text{ km}^2$  corresponden a las unidades semipermeables media superior Lias y Malm. El sustrato está formado por la denominada “Unidad de Depresión Olistostrómica de Guadaquivir”.



**LEYENDA**

LITOLOGÍA	EDAD	PERMEABILIDAD
	Cuaternario	ALTA
	Cuaternario	MEDIA
	Cuaternario	ALTA
	Plioceno	ALTA
	Mioceno (Serr.)	BAJA
	Mioceno	ALTA
	Indiferenciada	MEDIA
	Cenozoico	BAJA
	Cretácico (Sup.)	ALTA
	Cretácico (Inf.)	BAJA
	Cretácico	BAJA
	Jurásico	BAJA
	Jurásico	ALTA
	Triásico (Keuper)	BAJA
	Triásico (Keuper)	ALTA
	Triásico (Musch.)	ALTA

Figura 16. Mapa hidrogeológico del acuífero de San Cristóbal [13]

Las formaciones más permeables son las calizas dolomíticas y del Lias Inferior con un espesor medio de 300 m, las calizas oolíticas de Dogger con una potencia del orden de 150 - 250 m [10].

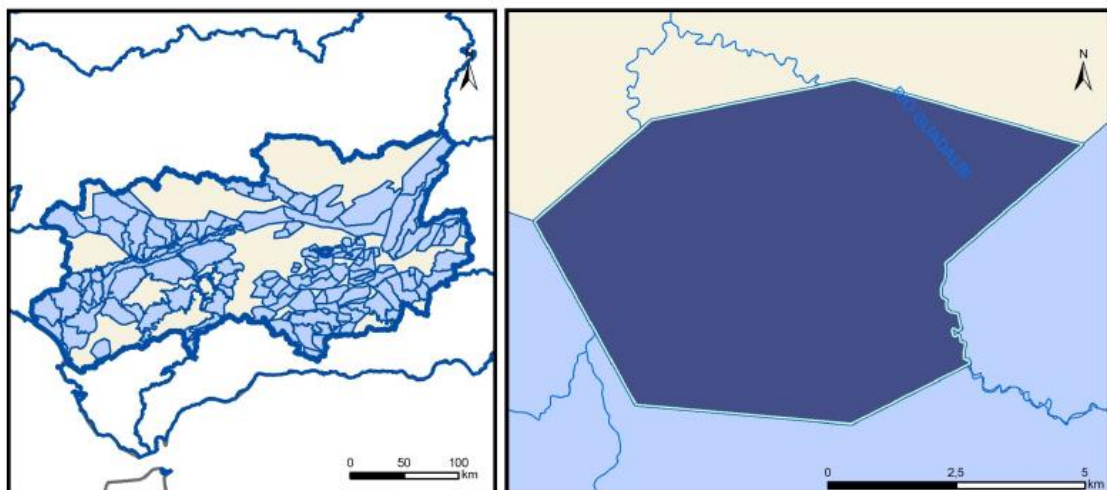
En el extremo suroccidental afloran calizas, brechas y turbiditas calcáreas del Malm, que presentan menor permeabilidad y cuya potencia es de 300 – 350 m. Estos materiales tienen un tramo basal margocalcáreo de unos 50 metros de potencia. La zona septentrional está ocupada por calizas tableadas del Lías que tienen menor permeabilidad que las calizas anteriores, y una potencia de 400 m.

Ocupando un área considerable, las arcillas del Cretácico Inferior bordean el Jurásico y generalmente se consideran impermeables. El límite septentrional y substrato impermeable, está constituido por margas miocenas, mientras que al Sur el acuífero se sitúa bajo materiales margocalcáreos del Cretácico inferior.

La existencia de un nivel de impermeabilidad en el Oxfordiense (Malm) y los cambios en la permeabilidad dan lugar a áreas confinadas o semiconfinadas y una compleja operación hidráulica compleja cuyo conocimiento es aún muy limitado.

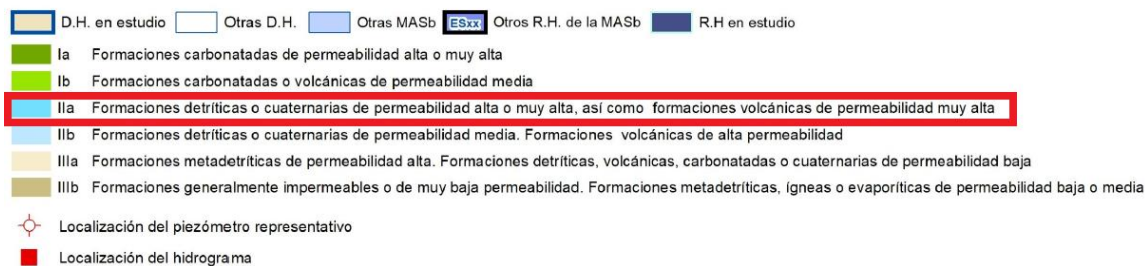
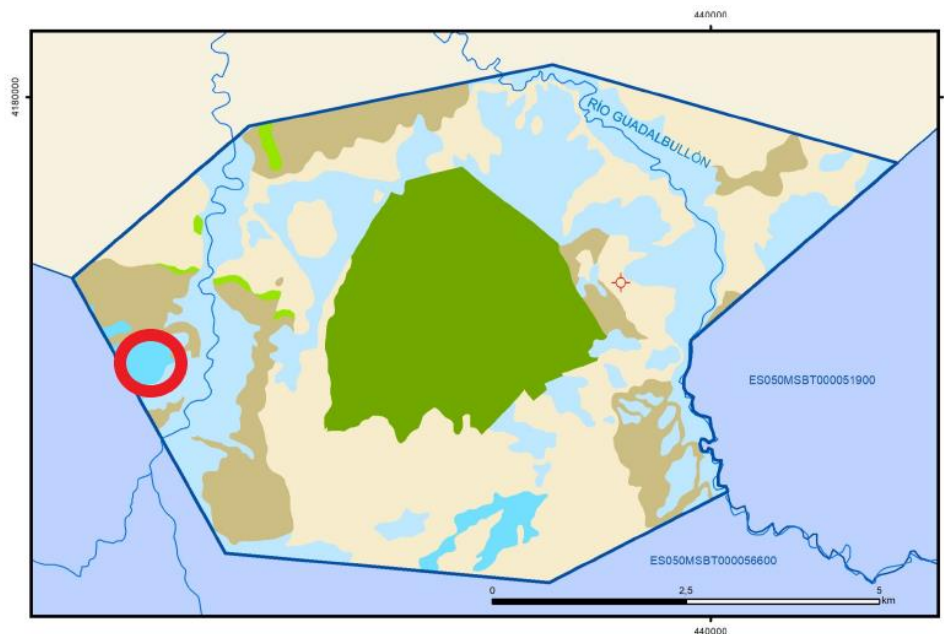
#### 1.7.1.2. Permeabilidad, porosidad y transmisividad [11]

En la Figura 17 se muestra la permeabilidad de la capa superficial.



(a)

(b)



(c)

**Figura 17. (a) Acuífero dentro de la confederación hidrográfica del Guadalquivir. (b) Acuífero de San Cristóbal. (c) Mapa litología/permeabilidad del acuífero de San Cristóbal [11]**

El método de obtención de los valores ha sido bibliográfico al tratarse de un estudio técnico. En la Tabla 11 se recoge tanto la porosidad, como la permeabilidad y la transmisividad.

**Tabla 11. Porosidad, permeabilidad (m/día) y transmisividad (m<sup>2</sup>/día) [12]**

Acuífero	Porosidad	Permeabilidad	Transmisividad (rango de valores)	
			Menor	Mayor
<b>Acuífero calizas del Lías medio – superior y Malm</b>	Fisuración - karstificación	Muy alta: > 10+2 m/día	50,0	100,0

### 1.7.2. Funcionamiento del Acuífero San Cristóbal [10]

Los límites de la masa de agua suelen ser fracturas distensivas, que provocan un contacto lateral entre las capas permeable e impermeable en las paredes y el techo de la estructura que conforma el edificio carbonatado.

Todo el acuífero se abastece por infiltración de agua de lluvia. Las salidas se deben a extracciones por bombeos, y surgencias por manantiales. En la Figura 18 se aprecia un croquis del funcionamiento del acuífero de San Cristóbal.

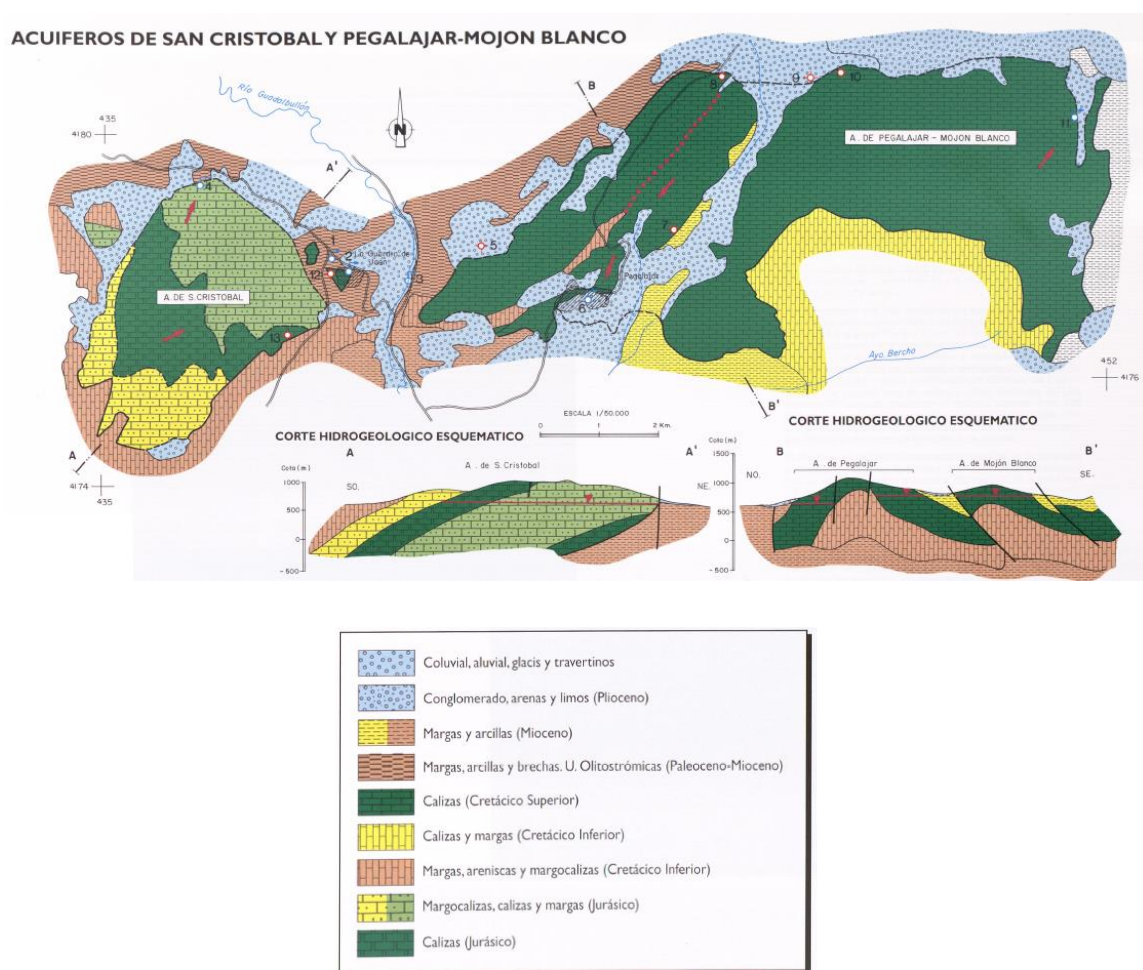


Figura 18. Croquis del funcionamiento del acuífero San Cristóbal [10]

#### 1.7.2.1. Balance hídrico del acuífero

La información referente a los parámetros hidráulicos del acuífero es escasa: el único ensayo de bombeo con información disponible en el acuífero corresponde al sondeo “Los Caracoles”. En el bombeo realizado se calculó una transmisividad de 3 m<sup>2</sup>/día con un caudal de 2,5 l/s.

La alimentación se debe exclusivamente a la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos y se estima del orden de  $0,75 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Figura 19). Ese mismo valor se supone para la descarga natural a través de manantiales junto con las extracciones por bombeo no siendo posible, con la información actual, diferenciar que porcentaje corresponde a cada uno de ellos.



Figura 19. Entradas y salidas del acuífero San Cristóbal [13]

En la Tabla 12 y 13 se aprecia el uso del agua del acuífero.

Tabla 12. Extracción de agua subterránea en  $\text{hm}^3/\text{año}$  [10]

SECTOR	USOS			TOTAL
	Urbanos	Riego	Industrial	
San Cristóbal	0,20	0,35	0,00	0,55
<b>TOTAL</b>	0,20	0,35	0,00	0,55

**Tabla 13. Utilización de las descargas subterráneas naturales [10]**

SECTOR	TIPO DE DESCARGA	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)	USO
San Cristóbal	Manantiales	0,2	Agrícola
<b>TOTAL</b>		0,2	

#### 1.7.2.2. Piezometría

No se conoce el régimen general del flujo de agua subterránea de manera muy rigurosa, ya que la información piezométrica es muy limitada. Se ha tomado como referencia el siguiente piezómetro representativo de la Tabla 14 que está situado a 2 km del sondeo para obtener datos piezométricos (Tabla 15):

**Tabla 14. Piezómetro representativo [11]**

Nº de registro	X UTM (ETRS89)	Y UTM (ETRS89)	Cota (m.s.n.m)
1938060073	438843	4177602	610

**Tabla 15. Caracterización piezométrica del acuífero [11]**

Característica	Valor	Periodo
Nivel piezométrico medio estimado en régimen natural (m s.n.m.) ( $NP_0$ )	590	1990
Gradiente medio	0,001	
Cota media del techo del R.H (m s.n.m.) ( $Z_{techo}$ )	588	
Cota media del muro del R.H (m s.n.m.) ( $Z_{muro}$ )	200	
Cota umbral de conexión del R.H. (ms.n.m.) ( $Z_{umb}$ )	450	

Por último, en la Figura 20 se aprecia el gráfico piezométrico representativo.

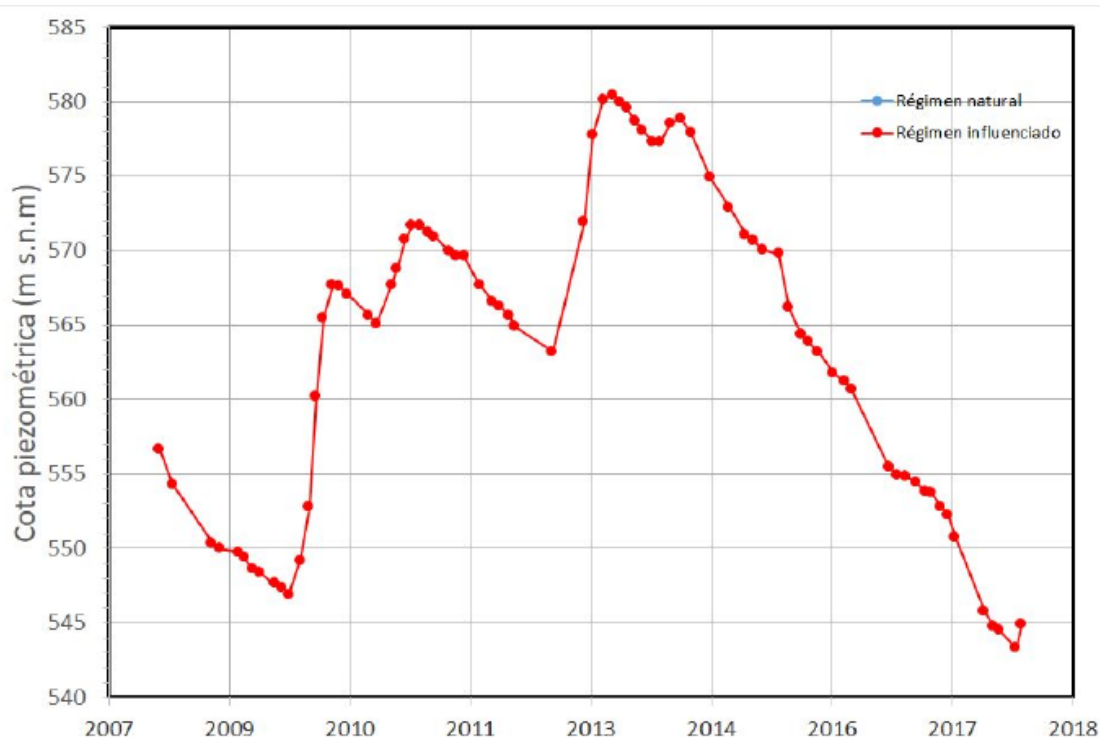
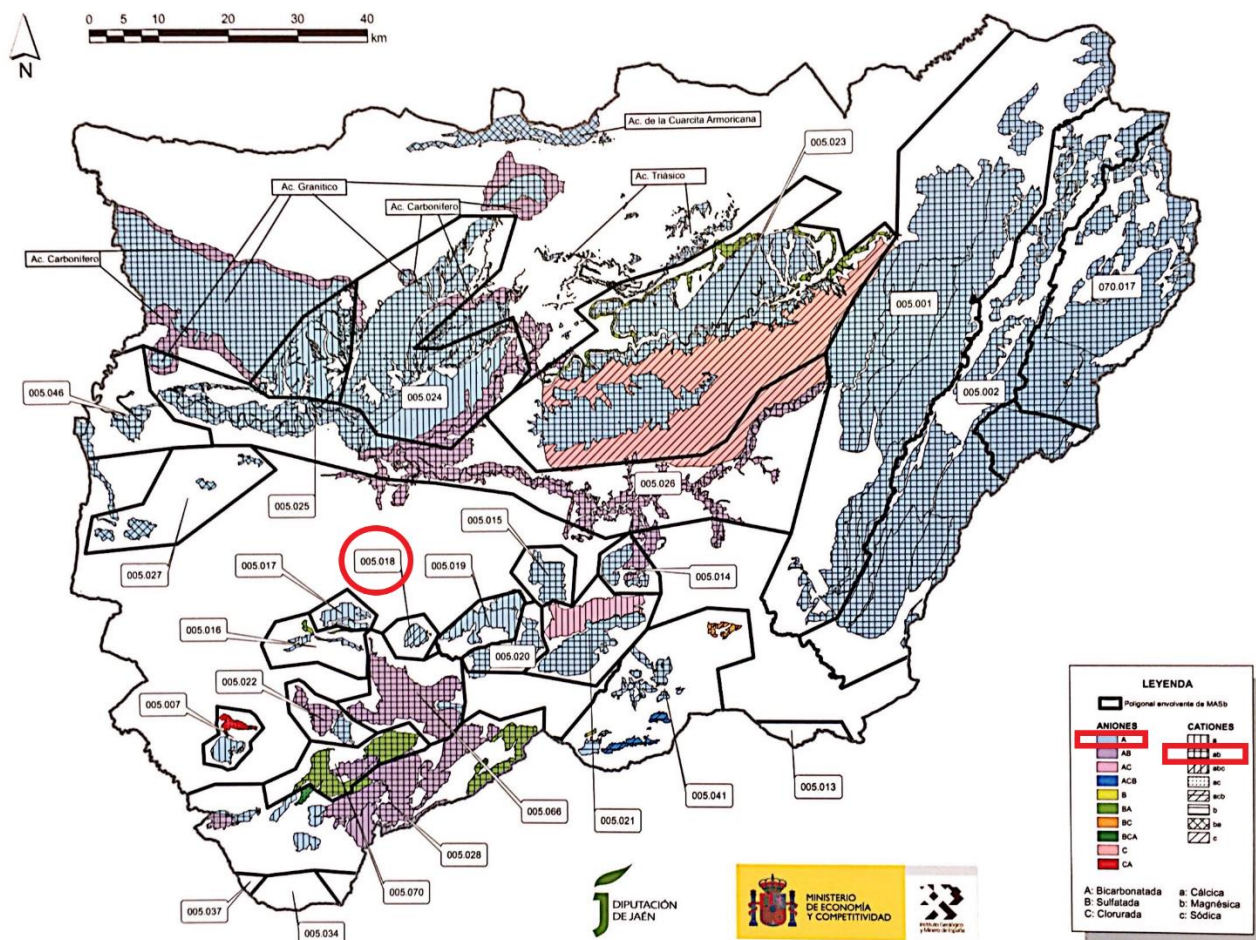


Figura 20. Gráfico piezométrico representativo [5]

### 1.8. Estudio hidrogeoquímico [12] [13]

Este análisis del futuro agua de riego asegura la calidad para este fin, ayudando a tomar las medidas apropiadas en caso de ser necesario. Agua con mala calidad y alta concentración de sal requerirá tratamiento. Si hay agua con leve aporte mineral o con un contenido de sal ligeramente mayor que valor recomendado, es posible que se requieran algunos cambios en el fertilizante.

Como se puede apreciar en la Figura 21, el acuífero de San Cristóbal es carbonatado. Las aguas de todos los estratos o mezclas carbonatadas son principalmente facies de carbonato cálcico y/o magnésico, con baja salinidad y sedimentos secos de 300 a 1000  $mg/l$ , y la mayoría por debajo de 500  $mg/l$ . Sólo en el caso de circulación a través de materiales margo - yesíferos el agua puede caracterizarse por una mineralización superior a 1000  $mg/l$  y facies que varían de sulfatadas cálcicas a magnésico e incluso cloruradas sódicas.



**Figura 21. Hidrogeoquímica de los acuíferos de la provincia de Jaén [5]**

Como tal, la mayoría de estas fuentes de agua subterránea son químicamente aceptables para los humanos y solo están localizadas o, a veces, exceden los límites de uso en el suministro de agua municipal (redundancia (sulfatos, magnesio y, rara vez, sodio)).

Por otro lado, suele haber un exceso de nitrito en algunas de las fuentes más importantes, lo que siempre se produce tras algún paso por los cauces superficiales, muchas veces con residuos residuales sin tratar, por lo que no refleja la calidad original del agua.

En las terrazas de Guadalquivir se supera a menudo los 1000 *mg/l* de residuos secos y se desarrollan facies hidroquímicas muy variable (bicarbonatadas, sulfatadas o cloruradas cálcicas) con niveles de nitratos que superan los límites para el consumo humano (hasta 150 *mg/l* en ciertos puntos) y un exceso de otros iones, que se distinguen por su uso para suministro de muchos de los centros urbanos cercanos.

### 1.8.1. Campaña de prospección geoquímica

Se ha hecho uso de una campaña hidrogeoquímica que recientemente realizó la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir [12]. La cual indica que la calidad del agua es suficiente para el abastecimiento agrícola.

La calidad química del agua viene dada por la cantidad de sales y la proporción de distintos iones que esta posee. Se determina el *pH*, contenido en boro, conductividad eléctrica, determinación de cationes (calcio, magnesio, potasio y sodio), determinación de aniones (nitratos, sulfatos, bicarbonatos y cloruros), hierro, zinc, manganeso, cobre y arsénico.

La calidad química del agua depende de la cantidad de sales y de las proporciones de los distintos iones que contiene.

#### 1.8.1.1. Toma de datos

En primer lugar, se adjunta en la Figura 22 un mapa con los puntos utilizados en la campaña de prospección geoquímica [12].

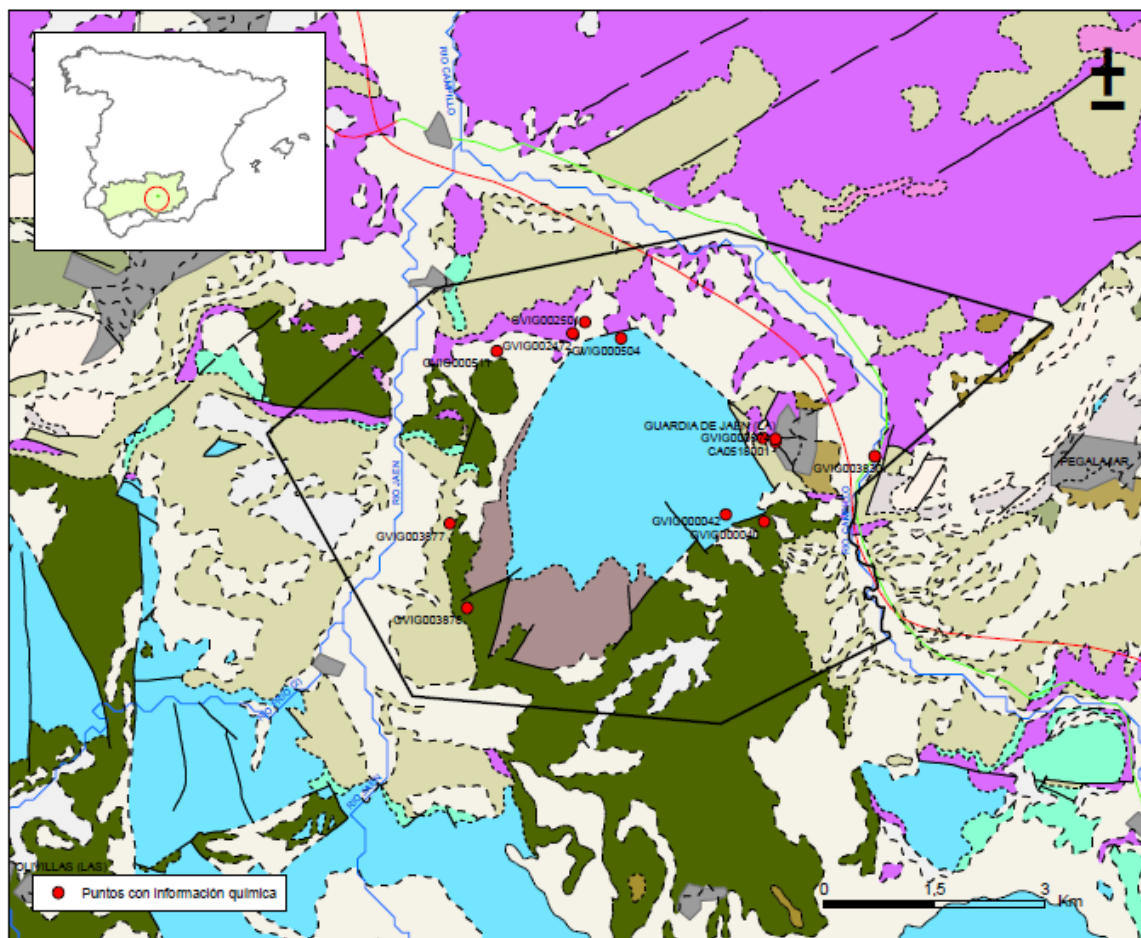


Figura 22. Mapa de situación de puntos utilizados para la campaña de prospección geoquímica [12]

### 1.8.1.2. Nitratos, nitritos y amonios

En la Figura 23 se observa que la cantidad de nitrogenados está en todos los casos dentro del límite de la normalidad.

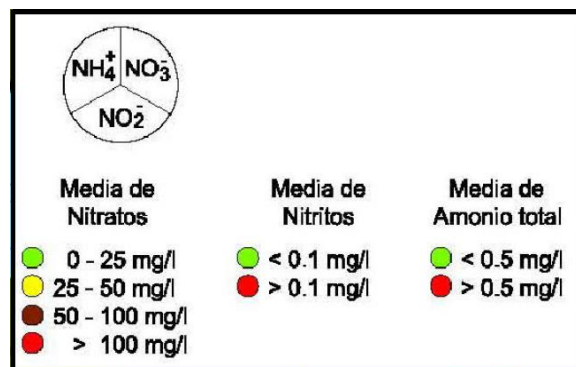
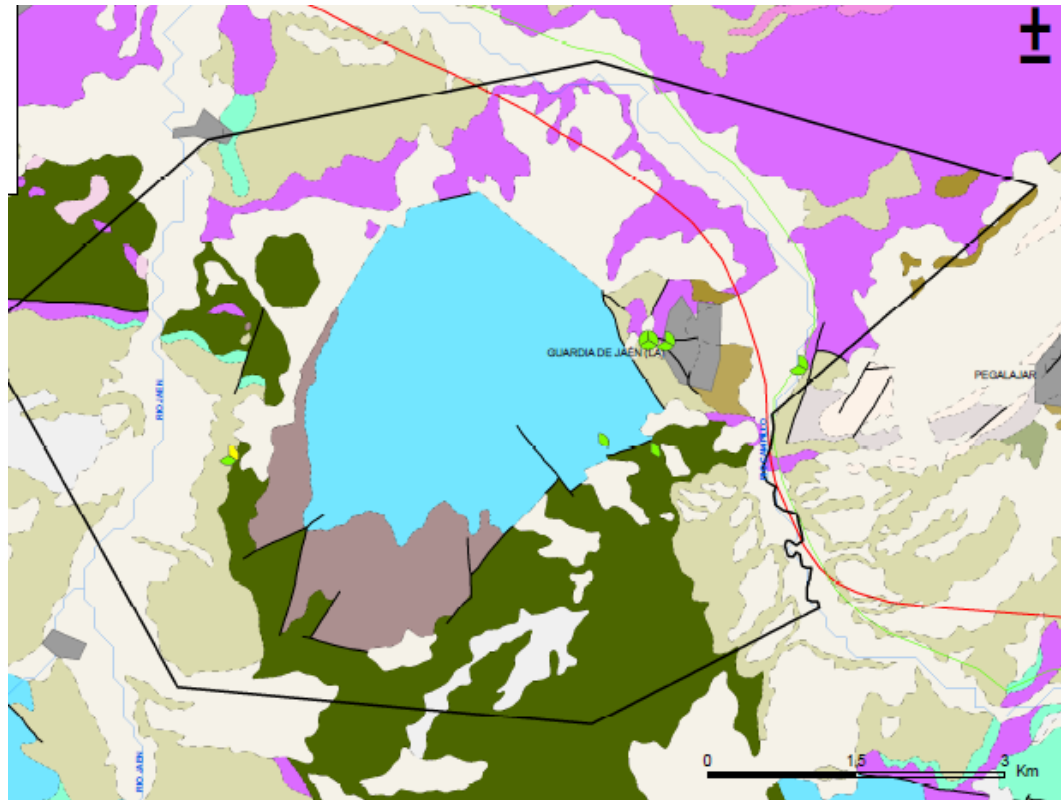


Figura 23. Mapa de calidad química de referencia. Compuestos nitrogenados en acuífero San Cristóbal [12]

### 1.8.1.3. Conductividad, cloruros y sulfatos

En la Figura 24 se observa que la conductividad y la cantidad de cloruros y sulfatos está en los casos cercanos al sondeo, dentro del límite de la normalidad.

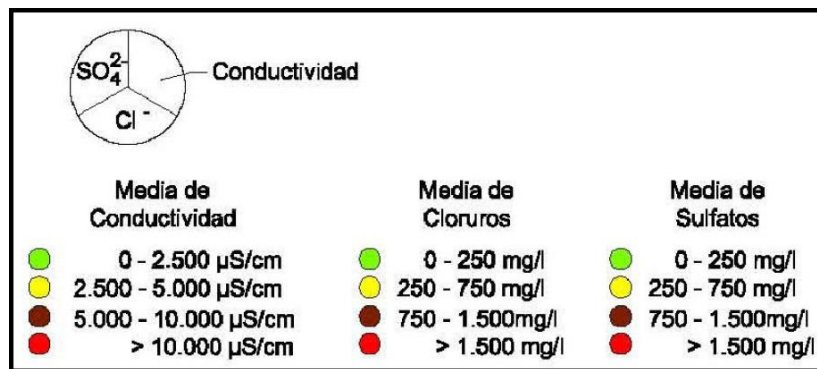
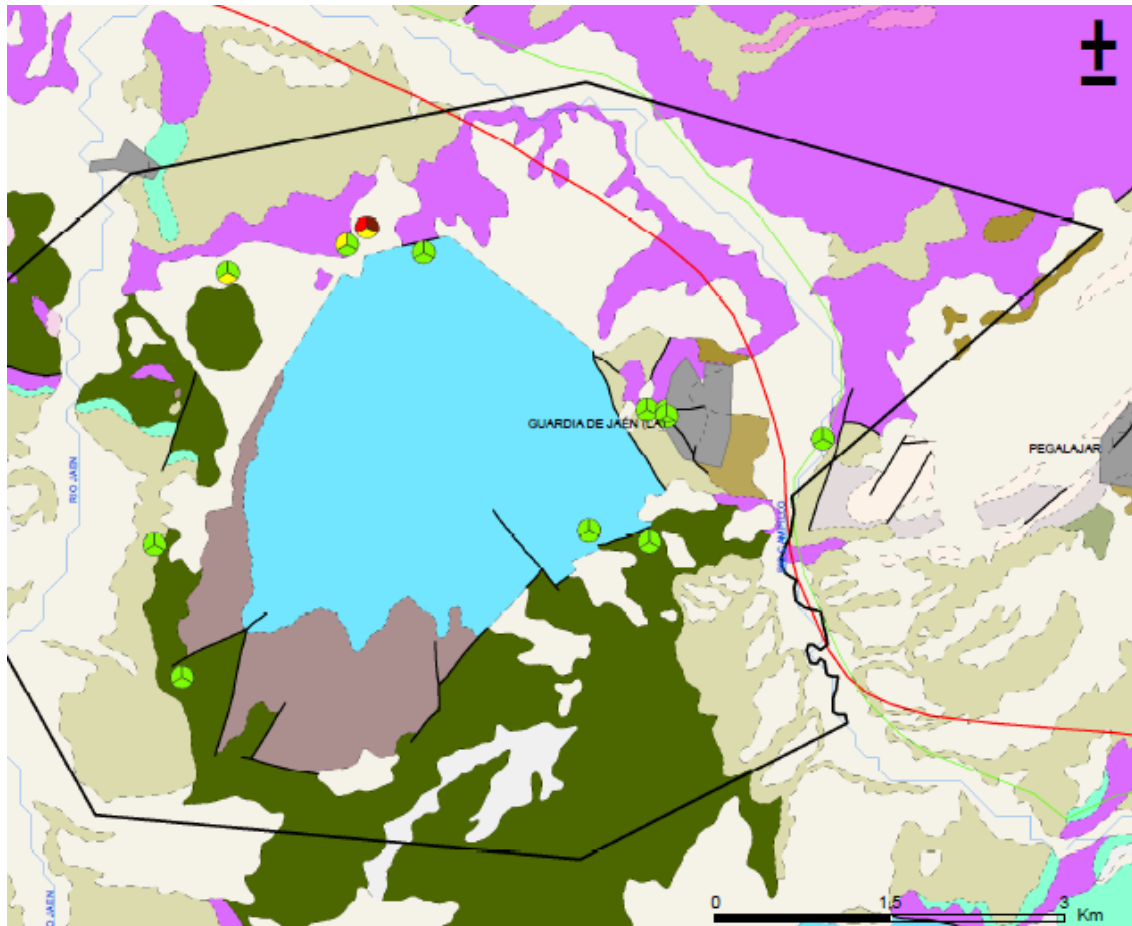
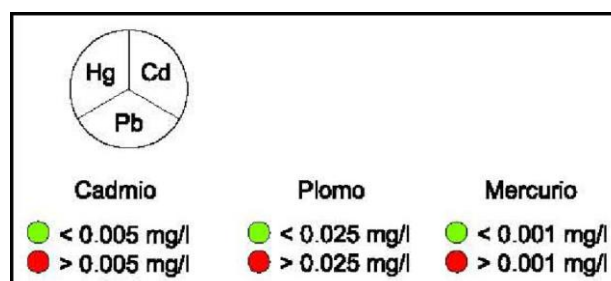
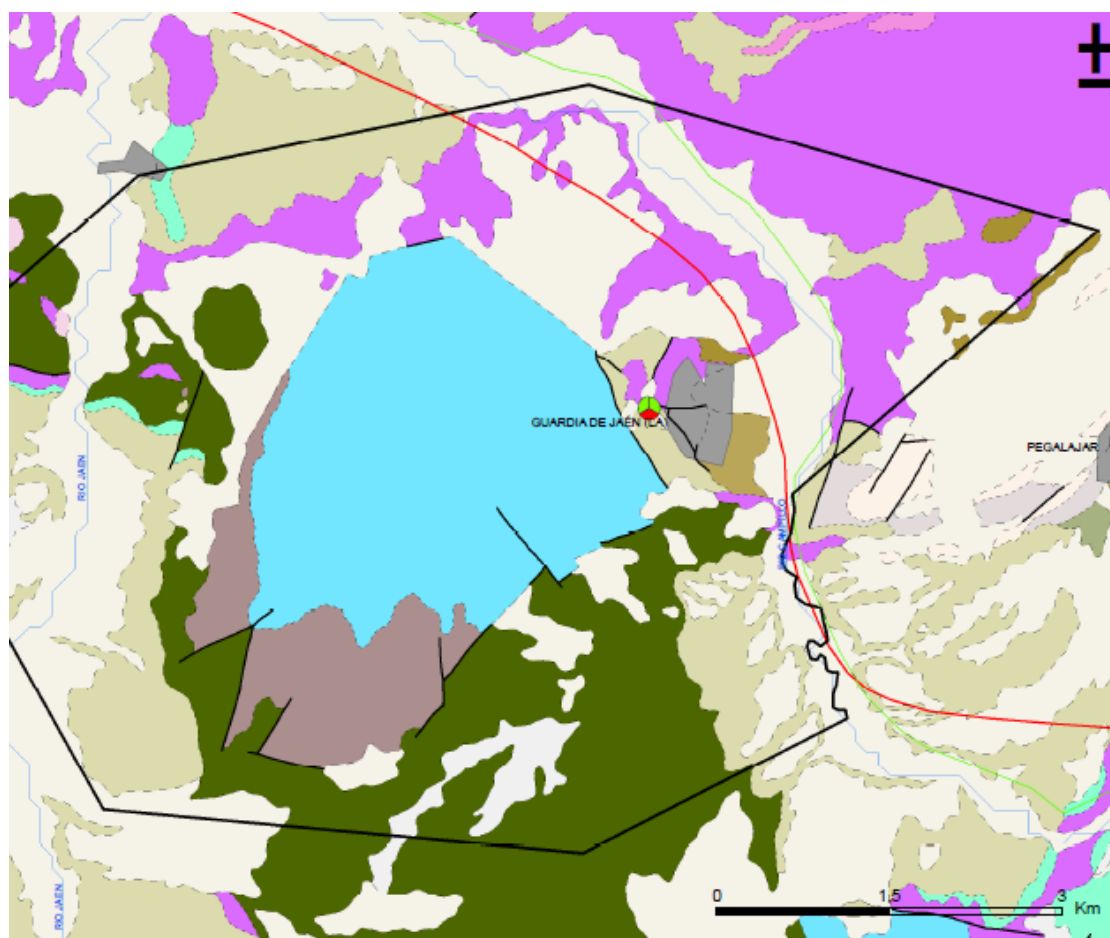


Figura 24. Mapa de calidad química de referencia. Conductividad, cloruros y sulfatos en acuífero San Cristóbal [12]

#### 1.8.1.4. Metales pesados: Cadmio, Plomo y Mercurio

En la Figura 25 se observa una cantidad anormal en los valores de plomo. Pero esto se debe a la población de Guardia de Jaén. Y es que en este caso solo se han medido los metales pesados en ese punto.



**Figura 25. Mapa de calidad química de referencia. Metales pesados: Cadmio, Plomo y Mercurio en acuífero San Cristóbal [12]**

### 1.8.2. Parámetros medidos

En la Tabla 16 se muestra el tratamiento estadístico de los parámetros medidos [12]. Base de datos de calidad del MMA 2008.

**Tabla 16. Tratamiento estadístico de los parámetros medidos [12]**

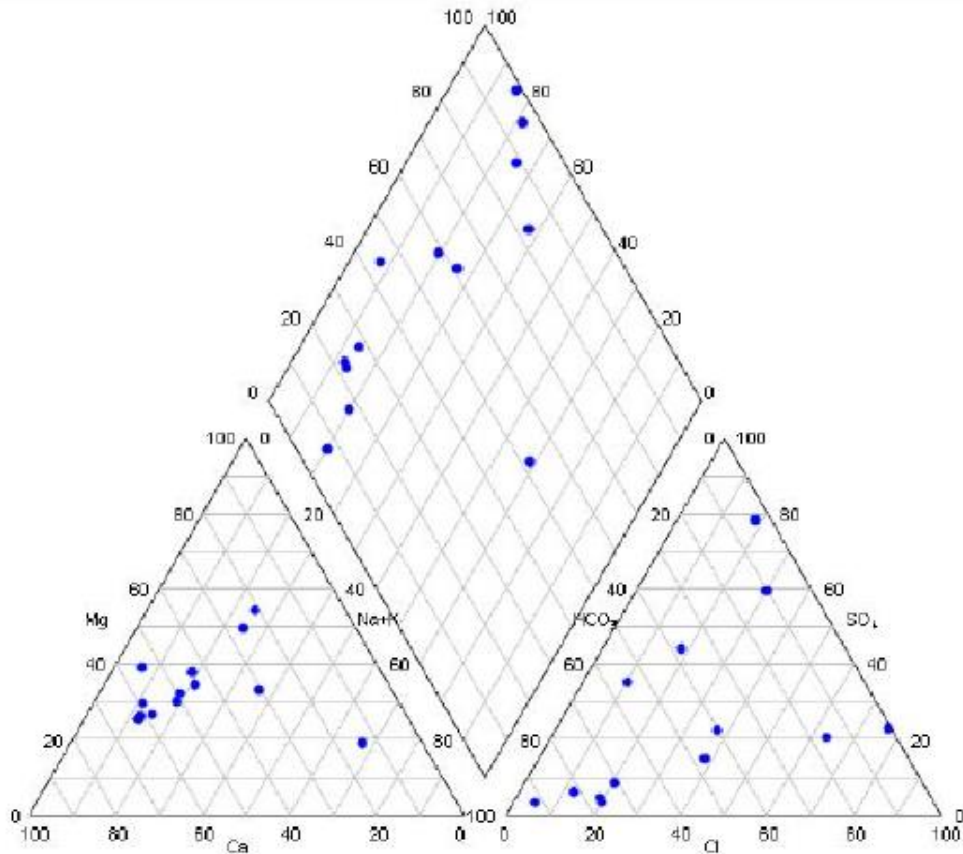
Parámetro	Nº estaciones / Nºmuestras	Valor del parámetro							Periodo
		máximo	medio	mínimo	mediana	Perc. 25	Perc. 75	Perc. 90	
Temperatura (°C)	9/ 17	26,2	18,3	11,0	17,0	16,0	22,0	25,2	1.967/ 2.007
pH (Ud. pH)	/								/
Conductividad eléctrica a 20° C (µS/cm)	11/ 18	6.000	1.103	430	693	532	930	2.000	1.967/ 2.002
O2 disuelto (mg /L)	/								/
DQO (mg O2/L)	/								/
Dureza Total CO3Ca (mg /L)	/								/
Alcalinidad CO3Ca(mg /L)	/								/
Bicarbonatos CO3Ca (mg /L)	/								/
Sodio (mg/L)	/								/
Potasio (mg/L)	/								/
Calcio (mg/L)	/								/
Magnesio (mg/L)	/								/
Nitrato (mg/L)	7/ 19	68,0	15,6	9,0	13,0	11,7	14,0	19,0	1.982/ 2.007
Arsénico (mg/L)	/								/
Cadmio (mg/L)	3/ 10	0,00100	0,00020	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00100	1.993/ 2.007
Plomo (mg/L)	3/ 10	0,05000	0,01000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,05000	1.993/ 2.007
Mercurio (mg/L)	3/ 9	0,00100	0,00020	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00100	1.993/ 2.007
Amonio total (mg NH4/L)	6/ 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.993/ 2.007
Cloruro (mg/L)	13/ 26	436,0	85,4	14,0	42,5	37,5	103,0	192,0	1.967/ 2.007
Sulfato (mg/L)	13/ 26	1.968,0	142,5	10,0	25,0	15,0	88,0	240,0	1.967/ 2.007

### 1.8.2.1. Diagrama triangular de Piper

Los diagramas triangulares se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia. La suma de los tres componentes debe ser el 100% de la composición de lo que se está considerando.

En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes básico y otro triángulo para los aniones. Un vértice representa el 100% de ese componente. Por el contrario, los puntos que contengan 0% de este estarán en el lado opuesto del vértice correspondiente.

El vértice  $Ca^{++}$  representa 100% de  $Ca^{++}$ , mientras que todos los puntos del lado opuesto a ese vértice suponen 0% de  $Ca^{++}$ . En la Figura 26 se muestra el diagrama de Piper del acuífero de San Cristóbal:



**Figura 26. Diagrama de Piper – Hill – Langelier en acuífero San Cristóbal [12]**

### 1.8.3. Calidad y clasificación

Si el agua tiene un contenido de sal demasiado alto, no se puede utilizar como agua de riego en la agricultura. Esto se debe a que los olivos tienen que trabajar más para absorber agua, lo que puede causar estrés por deshidratación, afectando el crecimiento de la planta (a mayor salinidad del agua, menor rendimiento).

La clasificación del agua según la salinidad del agua de riego es la mostrada en la Tabla 17. (James et al., 1982):

**Tabla 17. Conductividad aceptada para agua de riego [12]**

Clase de agua	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Excelente	250
Buena	250-175
Permisible	750-2000
Uso dudoso	2000-3000

Contrastando con la Tabla 16 y Figura 24, la conductividad de la zona de estudio está en el rango de buena a permisible.

En conclusión, existe una gran variabilidad dentro del acuífero debido a su complejo contexto geológico. En el borde septentrional se encuentran facies bicarbonatadas, en el borde oriental magnésicas, y en el borde suroccidental cálcicas.

**Abastecimiento:** En la mitad septentrional tolerables y puntualmente no aptas. En la mitad meridional aptas.

**Riego:** En general buenas ( $C_2 - S_1$ ), aunque en el borde septentrional pueden ser mediocres ( $C_3 - S_1$ ).

## 1.9. Estudio de prospección geofísica

El difícil contexto geológico ya analizado justifica la realización de una campaña de prospección geofísica para poder conocer a ciencia cierta:

- El tipo de material en la zona.
- El espesor de cada capa.

Estos datos, complementados con los que ya están disponibles del estudio geológico, permiten la construcción de la columna estratigráfica a perforar.

Para ello se aplicará un sondeo eléctrico vertical (SEV)[18], que es un método directo de prospección.

### 1.9.1. Sondeo eléctrico vertical (SEV)

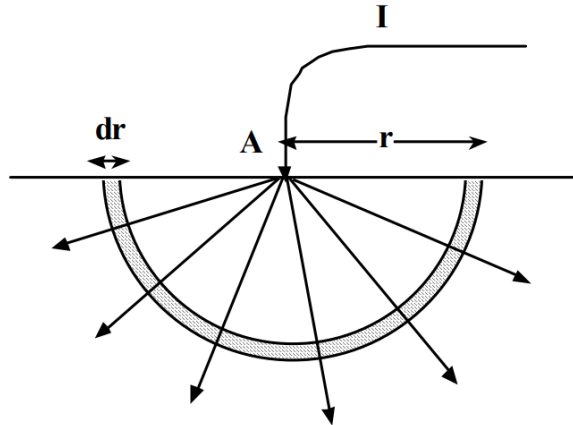
Midiendo la resistividad de los materiales que componen el suelo, se puede conocer su composición y el espesor de los componentes a lo largo de la columna longitudinal hasta una profundidad de unos 200 m.

La resistividad aparente se medirá con un instrumento Schlumberger, siempre que el suelo no consista en un solo material homogéneo.

Esta resistividad se obtiene introduciendo una corriente  $I$  en el punto  $A$  a tierra, y según la ley de Ohm se obtiene una resistencia  $R$ , frente a la corriente que circula por un casquete hemisférico de radio  $r$  y espesor  $dr$  (Expresión (2)).

$$R = \rho \frac{\text{longitud}}{\text{sección}} = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \quad (2)$$

En la Figura 27 se representa un croquis de esta teoría.



**Figura 27. Medición de la potencia en un punto del terreno A**

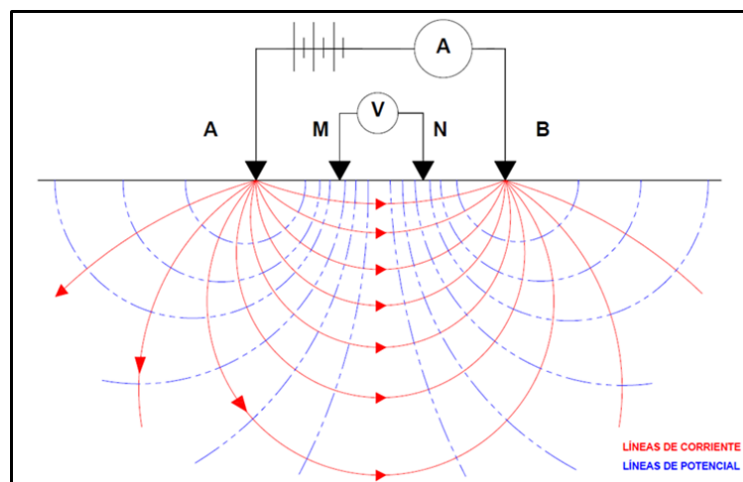
Se utilizará la Expresión (3) para calcular el valor de la resistividad:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot K \quad (3)$$

Donde:

- $V$ : Es la diferencia del potencial eléctrico entre punto  $M$  y  $N$  (Figura 28).
- $I$ : Es la intensidad de corriente.
- $K$ : Es un coeficiente geométrico. Depende de la distancia entre los electrodos.

En la Figura 28 se aprecia un esquema del *SEV*.



**Figura 28. Esquema del *SEV***

Se parte de valores de resistividad de referencia. Estos se expresan en la Tabla 18:

**Tabla 18. Valores de resistividad por material de referencia [19]**

<i>Aguas y rocas</i>	<i>Resistividad ( ohm*m )</i>
Agua de mar.....	0.2
Agua de acuíferos aluviales.....	10 – 30
Agua de fuentes.....	50 – 100
Arenas y gravas secas.....	1000 – 10000
Arenas y gravas con agua dulce.....	50 – 500
Arenas y gravas con agua salada.....	0.5 – 5
Arcillas.....	2 – 20
Margas.....	20 – 100
Calizas.....	300 – 10000
Areniscas arcillosas.....	50 – 300
Areniscas cuarcitas.....	300 – 10000
Tobas volcánicas.....	20 – 100
Lavas.....	300 – 10000
Esquistos grafitosos.....	0.5 – 5
Esquistos arcillosos.....	100 – 300
Esquistos sanos.....	300 – 3000
Gneis, granito alterado.....	100 – 1000
Gneis, granito sanos.....	1000 - 10000

Los niveles medidos son los que aparecen en la Tabla 19:

**Tabla 19. Valores de resistividad medidos por estratos**

<i>Material</i>	<i>Resistividad (<math>\Omega \cdot m</math>)</i>	<i>Espesor (m)</i>
<b>1° Estrato</b>	3	2
<b>2° Estrato</b>	2500	6
<b>3° Estrato</b>	13	55
<b>4° Estrato</b>	800	-

### 1.10. Estudio geotécnico de la parcela

A fin de caracterizar el terreno sobre el que se ejecutará la balsa y la perforación, se ha realizado un estudio geotécnico en el Anejo 1.

### 1.11. Descripción de los materiales a perforar

Considerando los estudios de diversa índole tales como el geológico, hidrogeológico, geotécnico y geofísico, se ha conseguido recopilar la columna de materiales a perforar, así como el entorno de la zona de perforación.

#### 1.11.1. Columna de materiales a perforar

En la Tabla 20 se especifica la columna de materiales a perforar:

**Tabla 20. Columna de materiales**

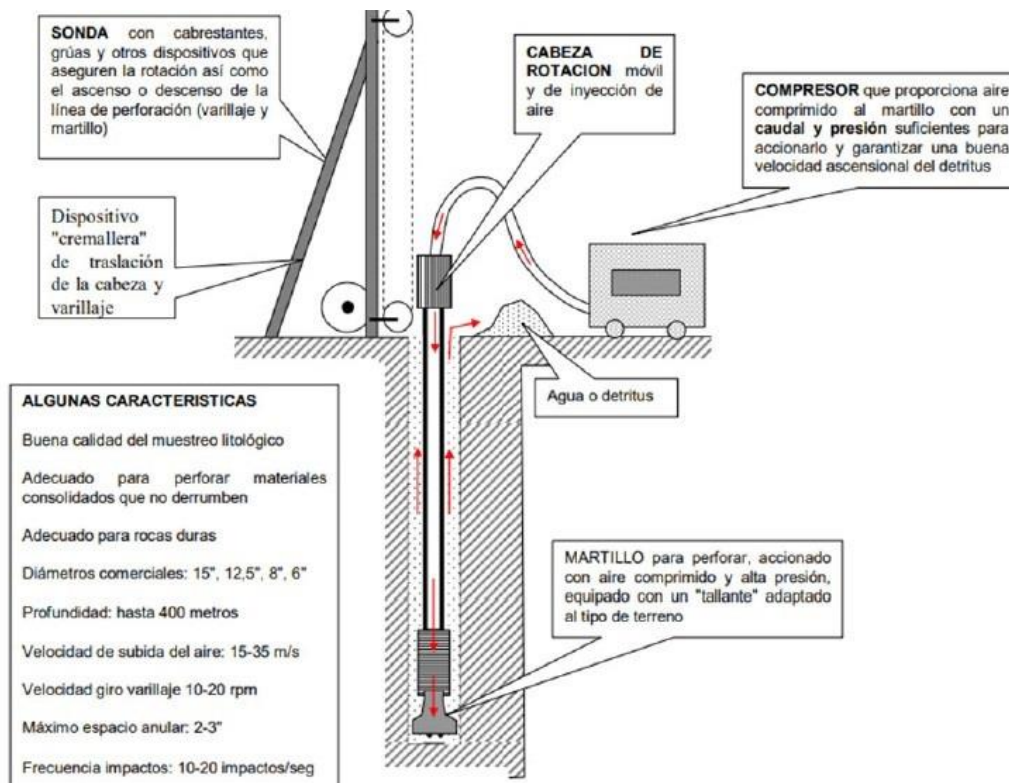
<b>ESTRATO</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
<b>Suelo vegetal</b>	±0,00 hasta ± 2,00
<b>Material detrítico de Gravas limosas</b>	±2,00 hasta ± 8,00
<b>Margas blancas</b>	±8,00 hasta ± 63,00
<b>Calizas grises</b>	±63,00

Por tanto, se ha decidido que la perforación debe alcanzar 80 metros.

### **1.12. Método de perforación adoptado**

Las operaciones de perforación se realizarán por el método de rotoperCUSión con martillo en fondo y circulación directa de aire comprimido y agua.

Este método de perforación combina un esfuerzo de rotación y de percusión (Figura 29) a través de un martillo de fondo a fin de profundizar en la perforación. El movimiento rotatorio del martillo, combinado con la presión de su propio peso, hace que se golpeen y trituren las superficies de roca sana de una manera efectiva; mientras que el aire comprimido y agua bombeados llevan los residuos de roca hasta la superficie. Sumado a esto, la herramienta de corte provoca la destrucción de rocas debido al efecto de cizalla provocado por el movimiento rotativo.



**Figura 29. Funcionamiento del método de perforación por rotopercusión**

### 1.12.1. Justificación del método de perforación elegido [20]

Referido a la posición del martillo en la plataforma de perforación, existen dos técnicas dentro del método de rotopercusión:

- El martillo en cabeza: En los equipos que instalan el martillo en la cabeza se transmiten los esfuerzos por todo el varillaje hasta llegar al equipo de corte.
- El martillo en fondo: El martillo se sitúa directamente sobre el equipo de corte.

Se escoge la técnica de martillo en fondo ya que se obtiene un rendimiento superior.

Otro factor a considerar en el método de perforación es el tipo de circulación del fluido dentro del sondeo. Entre las posibilidades a escoger se encuentra:

- Circulación directa.
- Circulación inversa.

Se opta por el método de circulación directa debido a restricciones constructivas, y es que como se verá más adelante, el diámetro de perforación utilizado es relativamente pequeño. Es por ello que no es admisible el método de circulación inversa.

En el método de circulación directa el fluido avanza al fondo en el interior del varillaje, recoge el detritus producido en la perforación, y este asciende arrastrándolo a través del espacio anular situado entre la pared del sondeo y la tubería de varillaje, llegando hasta la superficie del terreno, y siendo vertido al cauce natural (Figura 29).

Debido a las características geológicas ya vistas, y al deseo de obtener los mejores resultados de perforación posibles, con base en lo que se describe en esta sección se ha escogido el método de rotopercusión con martillo en fondo y circulación directa de aire comprimido y agua porque es óptima en terrenos competentes donde se garantiza una alta velocidad de avance y una gran verticalidad del sondeo. Además, dado que no se requieren grandes diámetros de perforación, el método es el más adecuado para el trabajo.

Con este método se obtienen los siguientes beneficios:

- La tasa de penetración es casi constante a medida que aumenta la profundidad de penetración.
- Bajo desgaste de la broca ya que el aire de impulsión pasa a través de la misma limpiando la superficie del fondo. Lo cual permite aumentar la eficiencia a través del pequeño anillo que queda entre la tubería y la pared del pozo.
- Aumento de la vida útil de la varilla.
- Menor coste por metro lineal para rocas muy duras.
- Menor consumo de aire que utilizando un martillo neumático.
- Menos ruido en la zona de trabajo, puesto que el martillo se sitúa en el interior de la perforación.

## **1.13. Sondeo**

### *1.13.1. Caudal*

Como se mencionó en el subapartado 1.7.2.1. Se estimó un caudal de 2,5 l/s para el único sondeo registrado de la zona. Por tanto, a lo largo de este estudio se estipulará un caudal medio de 2,5 l/s.

### *1.13.2. Ejecución de la perforación*

Los parámetros más importantes a considerar son los geotécnicos (Anejo 1) y la columna litológica a perforar (1.11.) que son los que condicionarán la perforabilidad del

terreno. Como el terreno se conforma por material detrítico conformado por gravas limosas, margas y calizas, se considerará una consistencia media.

Para una correcta ejecución de la perforación, se seguirán los siguientes pasos:

1. Conectar el suministro de aire comprimido y girar a baja velocidad el martillo de fondo.
2. Luego se inicia el empuje hasta que la boca comienza a tocar el suelo. La presión debe ser suficiente para comenzar con la rotura del terreno (evitar la oscilación de la boca para no dañar los botones). Cuando se produzca el primer contacto de la boca contra el suelo, no se debe exceder el peso total mínimo sobre la misma.
3. Evitar golpear la tubería de revestimiento cuando desciende el martillo hacia el taladro para continuar con la perforación. Se conecta el aire y se hace girar. Al situarse próximo al fondo del taladro, la boca debe llegar lentamente.
4. Cuando se hace descender el martillo hacia el taladro para continuar una perforación ya iniciada se evitará golpear la tubería de revestimiento. Conecte el aire y hágase girar. Al acercarse al fondo del taladro: la boca debe llegar lentamente.

#### *1.13.2.1. Acondicionamiento*

Los trabajos de acondicionamiento incluyen la entubación, el engravillado y la cementación. Estas son esenciales para mantener las paredes del sondeo, filtrar las partículas finas no deseadas en el agua y estabilizar las tuberías.

#### *1.13.2.2. Entubado de la perforación*

La selección de la tubería a utilizar en un sondeo de captación de agua subterránea se basa en factores geológicos, económicos y la cantidad de agua requerida para el proyecto de captación. Actualmente, existe una gran variedad de materiales y diámetros disponibles en el mercado para cumplir con las necesidades específicas de estos tipos de instalaciones.

La tubería tiene dos objetivos:

1. Soportar las paredes de la perforación.
2. Conectar el acuífero con la superficie o con los elementos de extracción.

Para determinar el entubado se tiene en cuenta:

- El diámetro de la tubería: el más económico, que se adecúe al proceso constructivo y a un correcto funcionamiento del pozo.
- El espesor de su pared: Considerando los esfuerzos que soportará.

La colocación de esta tubería se lleva a cabo con el cabestrante de la máquina de perforación, que se suspende en cada tramo mediante abrazadera o collar.

Una vez identificada la entubación se numera cada tramo empezando desde el fondo del pozo con pintura en la parte interna y externa de cada tubo. De esta manera se ejerce un control sobre la entubación.

La tubería del pozo debe ser dimensionada de manera que su diámetro sea mayor al diámetro de la bomba, y debe haber un espacio anular suficiente entre la pared de la bomba y la pared interior de la entubación para permitir un flujo adecuado de agua sin comprometer la seguridad de la instalación. A continuación, se muestra la Tabla 21 con recomendaciones de dimensionamiento en función del caudal y los diámetros de instalación.

**Tabla 21. Recomendaciones empíricas de entubación para la captación**

<b>Diámetro óptimo (mm)</b>	<b>Diámetro mínimo (mm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
150	125	>7
200	150	5 – 12
250	200	10 – 25
300	250	20 – 40
350	300	38 – 60
400	350	55 – 85
500	400	75 – 115

En el caso que acontece, se selecciona un diámetro de 200, inferior al diámetro de perforación de 254 mm, el cual se determina más adelante.

Se ha escogido una tubería de hierro galvanizado ya que esta es sustituible, en contraposición con la de PVC. Esto es importante si en un futuro es necesario limpiar el sondeo. Además, el acero galvanizado evita la corrosión y soporta al mismo tiempo elevadas cargas mecánicas, de tal manera se elimina el problema de las cargas del terreno.

En la Tabla 22. se muestran las características técnicas del entubado ofrecido por fabricante *GWE PESA Engineering* [32].

**Tabla 22. Entubado del fabricante GWE PESA Engineering [32]**

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>
Espesor (mm)	2,9	2,9	3,2	4,0	5,0
Diámetro exterior (mm)	114,3	139,7	168,3	219,1	273,0
Peso de tuberías de 4 m (kg)	40	51	66	104	159

Se utilizarán por tanto tuberías metálicas conformadas por hierro fundido de diámetro 200 mm en tramos de 4 metros. Estas se unen in situ a través de soldadura helicoidal.

Considerando la profundidad de perforación definida en el subapartado 1.11.1., se utilizará un espesor de 4 mm.

El espacio situado entre la tubería y la pared de la perforación se rellenará de gravas. Dicho proceso será detalladamente explicado más adelante.

Se llevará a cabo una cimentación en los 20 primeros metros de la perforación cuya función es tanto soportar el peso de la entubación como evitar que se introduzca agua exterior en el espacio anular. Esta se compondrá de mortero de 1,70 g/cm<sup>3</sup> de densidad y de mínima retracción.

#### *1.13.2.3. Compactación de gravas*

Debido a la presencia de arena suelta en el acuífero, se procederá a la compactación de las gravas. Este proceso sirve para estabilizar el terreno, evitando que se bombeen arenas y aumentando la permeabilidad alrededor de las rejillas

La operación de tratamiento de las gravas se realizará de forma continua, sin interrupción hasta el final.

El tamaño de la grava utilizada dependerá del tamaño de la granulometría de los estratos del acuífero, por lo que sería recomendable tomar muestras del material del acuífero. Dichas muestras se recolectarán durante la perforación de los materiales.

Considerando los resultados obtenidos durante los ensayos granulométricos del Anejo 1, se busca eliminar un 24,95% de las partículas más finas correspondientes a un tamaño de 0,4 mm, es decir, limos. Por tanto se plantean las Expresiones (4) y (5):

$$D_{Grava\ mín} = 6 \cdot D_{Arena\ Retenida} \quad (4)$$

$$D_{Grava\ máx} = 2 \cdot D_{Grava\ mín} \quad (5)$$

Resolviendo:

$$D_{Grava\ mín} = 6 \cdot 0,4\ mm = 3\ mm$$

$$D_{Grava\ máx} = 2 \cdot 3\ mm = 6\ mm$$

El tamaño máximo de la grava será 6 mm y el mínimo de 3 mm. Se utilizará grava silícea subredondeada. Este proceso consigue eliminar el filtrado de alto porcentaje de finos, mientras se retienen elementos con granulometrías más grandes.

#### 1.13.2.4. *Rejilla*

Es la zona por la que el agua entra al interior del sondeo, siendo por ello esencial en el mismo. Para elegir la rejilla más idónea se consideran estos tres parámetros:

- Abertura de la rejilla.
- Porcentaje de paso.
- Diámetro de la rejilla.

A fin de evitar que se filtren partículas finas no deseadas durante el bombeo se coloca una rejilla en la parte inferior de la zona de saturación de agua.

La rejilla se colocará en la parte inferior de la zona saturada de agua para evitar que se filtren partículas finas indeseables a la hora de bombear. Esta rejilla será tipo Johnson de 200 mm de diámetro y longitud de entre 0,5 y 0,66 veces la longitud de la zona saturada, siendo de 12 m por tanto.

Para la obtención del diámetro de abertura de la rejilla se procede del siguiente modo:

Tal y como previamente se vio, la grava que se utilizará tiene un diámetro de entre 3 y 6 milímetros. Teniendo en cuenta el caudal visto de 2,5 l/s y un paso de rejilla de 0,5 mm, se obtendría:

- Porcentaje de paso teórico/útil del 10 %.
- El porcentaje en peso de la formación que la rejilla dejará de pasar será del 24%.
- Rendimiento del 0,7.

En la Figura 30 se aprecia el gráfico utilizado en el diseño.

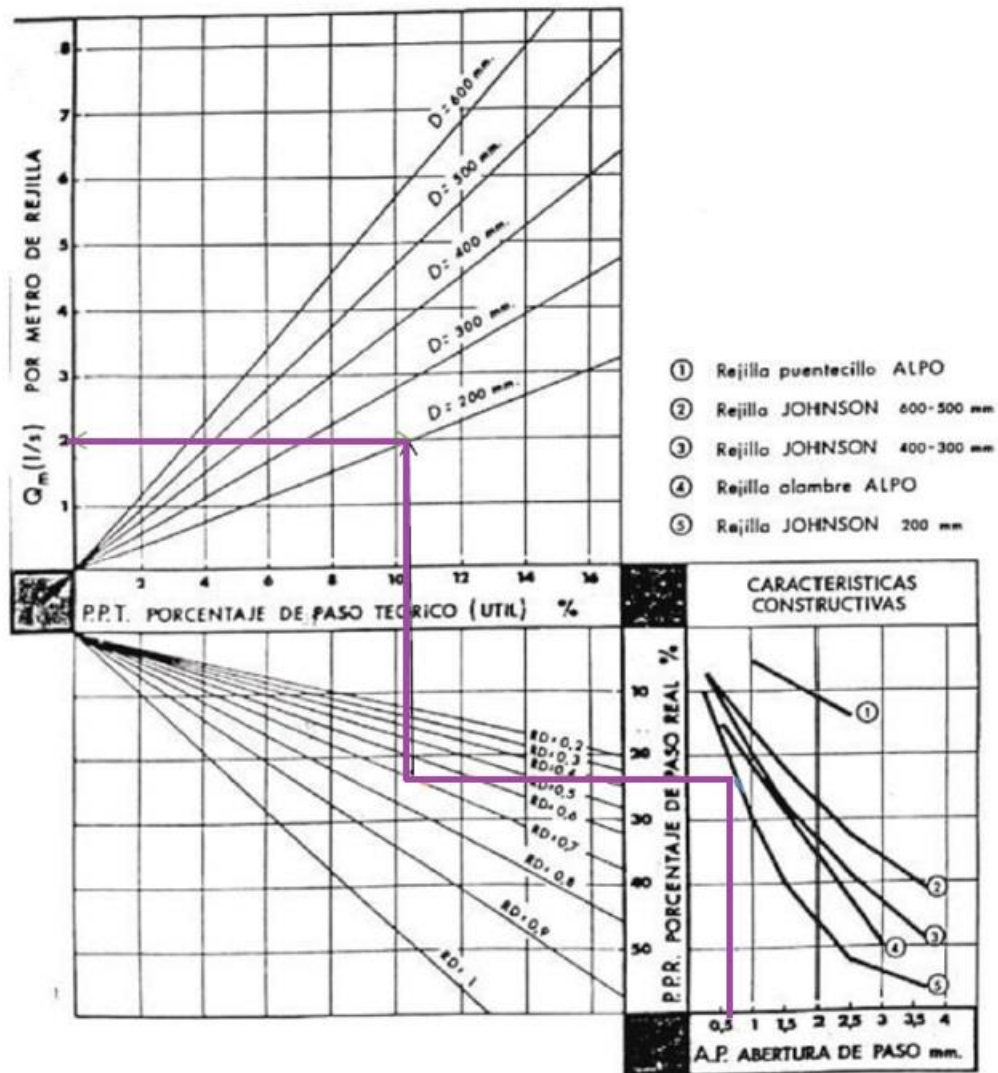


Figura 30. Diseño de la abertura de rejilla

#### 1.13.2.5. Limpieza del sondeo

La limpieza se realizará a lo largo de toda la perforación después de que se haya entubado completamente y cementado en su lugar.

Esta se realizará inyectando aire comprimido. Tras lo cual se realizará un ensayo de bombeo.

#### 1.13.2.6. Ensayo de bombeo

El ensayo de bombeo se realiza una vez se ha alcanzado el acuífero y se ha finalizado la perforación, entubación y cementación. Se debe realizar en los primeros dos días tras la ejecución de la obra.

El propósito del ensayo consiste en evaluar el acuífero en términos de cantidad y calidad del agua (hidrogeoquímica). Es una forma de evaluar si hay suficiente demanda.

Los procedimientos a ejecutar son:

1. Limpieza del pozo (realizada) para extraer los detritus generados durante el proceso de perforación, así como los finos que contienen los distintos estratos de la columna litológica. Con ello se reduce la pérdida de carga de la captación.
2. Estudio real de los parámetros hidrogeológicos del acuífero tales como la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento
3. Toma de muestra de agua para el análisis hidrogeoquímico real. Para ello, se instala una bomba sumergible que bombeará unos 10 litros de agua. Es vital para comprobar la calidad real del agua, y si es adecuada para el regadío de olivos.
4. Con todos estos pasos realizados, se procede a diseñar los equipos de bombeo más acordes a las necesidades productivas del estudio técnico.

#### *1.13.2.7. Cierre de la captación*

A fin de evitar la entrada de agua exterior y contaminantes, el entubado se extiende 40 cm por encima de la superficie del terreno. Sobre la misma se instalará una losa de cemento de 1x1 m y espesor 25 cm que va alrededor de la tubería.

### **1.14. Equipo de perforación**

#### *1.14.1. Sarta de perforación*

La sarta de perforación consta de: un martillo de fondo, la broca de perforación, el varillaje y los estabilizadores.

##### *1.14.1.1. Martillo en fondo*

Se ha escogido el martillo de fondo 8'' SD8 de la casa STENUICK (Figura 31), este fue diseñado específicamente para la perforación de pozos de agua, geotermia y cimentaciones.



**Figura 31. Martillo en fondo STENUICK08M**

En la Tabla 23 se muestran las características técnicas del mismo:

**Tabla 23. Características técnicas del martillo de fondo escogido [25]**

<b>Referencia</b>	STENUICK08M
<b>Designación</b>	Martillo8" SD8
<b>Rosca</b>	M. 4" 1/2 API REG
<b>Diámetro exterior</b>	174 <i>mm</i>
<b>Longitud</b>	1370 <i>mm</i>
<b>Porta bit</b>	SD8
<b>Diámetro de perforación</b>	200 a 305 <i>mm</i>
<b>Peso</b>	165 <i>kg</i>

No se ha escogido un martillo de tipo con válvula antirretorno debido a los inconvenientes del mismo al sumergirse en agua. Y es que se puede producir el gripado del martillo al detener el martillo, lo que produce el corte del aire y la consecuente inundación de agua.

Los martillos sin válvula pueden operar completamente sumergidos en agua, y también se puede inyectar agua en cantidades relativamente altas, sin que afecte a su funcionamiento.

#### 1.14.1.2. Broca de perforación

La broca de perforación consiste en un elemento que se sitúa en contacto directo con los materiales de la perforación. Este es el que ejerce al terreno la presión recibida del varillaje.

La broca seleccionada para el martillo en fondo STENUICK08M es la de 10'', y tiene las especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 24.

**Tabla 24. Especificaciones técnicas de la broca de perforación escogida [25]**

Diámetro	Peso
254 mm	64 g

#### 1.14.1.3. Varillaje

Se van a emplear tubos de 3 metros, que son los que requiere la máquina de perforación escogida en el subapartado 1.15.

Las características del varillaje escogido se representan en la Tabla 25:

**Tabla 25. Especificaciones técnicas del varillaje**

Ø exterior		Espesor (mm)	Longitud (mm)
mm	pulgadas		
140	5 1/2	14	3000

Puesto que ya se conoce el diámetro del varillaje, y el de la pared del pozo, se puede proceder al cálculo del espacio anular mediante la Expresión (6):

$$\phi_{Anular} = \phi_{pozo} - \phi_{varillaje} \quad (6)$$

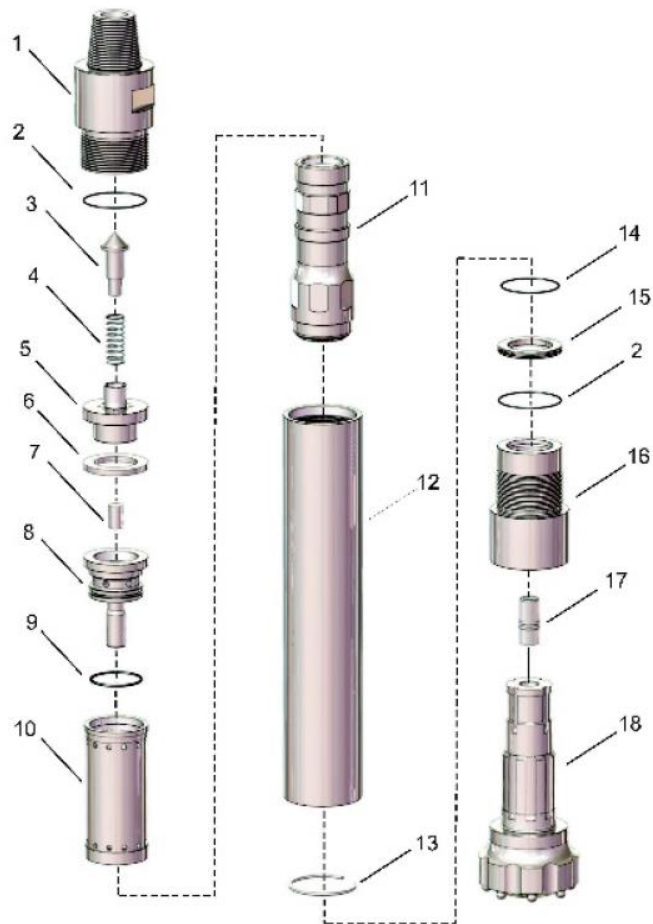
Resolviendo:

$$\phi_{Anular} = 254 \text{ mm} - 140 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$$

#### 1.14.1.4. Esquema equipo de perforación

Por tanto, el varillaje de perforación se despieza en las partes indicadas en la Figura 32.

1	Racor M4"1/2REG
2	O ring
3	Válvula ante – vuelta
4	Resorte
5	Guía válvula
6	Anillo
7	Estrangulador
8	Distribución
9	O ring
10	Camisa
11	Pistón
12	Cilindro
13	Circlips inferior
14	O ring
15	Retenedor
16	Anti cilindro
17	Teflón
18	Broca



**Figura 32. Varillaje de perforación escogido: (a) Referencias; (b) Despiece**

#### *1.14.2. Estabilizadores*

Son esenciales para asegurar la verticalidad del sondeo y así evitar que no se generen desviaciones durante la perforación. Su diámetro será inferior al de la broca, y se emplearán equipos de tipo helicoidal que minimizan el par de rotación.

#### *1.14.3. Fluidos de perforación*

Para limpiar y evacuar los detritus que quedan tras perforar, se requiere la utilización de fluidos.

En el presente estudio técnico se hará uso de aire comprimido, que junto a espuma será inyectado en el sondeo utilizando para ello una bomba de inyección.

El fluido de perforación llega a la broca inyectándose a través del varillaje. Esta llega al fondo del sondeo y arrastra el ripio producido en el proceso de la perforación, el cual asciende por el espacio anular (velocidad de ascensión) previamente descrito como el espacio entre la pared del sondeo y las paredes externas del varillaje.

La velocidad ascensional depende de la densidad y la viscosidad que tiene el fluido escogido para la perforación. Por tanto, la capacidad de ascensión que tiene el fluido viscoso espumoso con las partículas a extraer se obtiene de la Expresión (Stokes) (7):

$$V_S = \frac{2 \cdot (\gamma_p - \gamma_f) \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \mu} \quad (7)$$

En la cual:

- $V_S$  es la velocidad con la que cae la partícula ( $cm/s$ )
- $\gamma_p$  es la densidad de la partícula ( $gr/cm^3$ )
- $\gamma_f$  es la densidad del fluido ( $gr/cm^3$ )
- $\mu$  es la viscosidad del fluido
- $g$  es la aceleración de la gravedad
- $r$  es el radio equivalente de las partículas ( $cm$ )

Para la velocidad ascensional del fluido se tomarán los siguientes valores de referencia

- La velocidad ascensional del fluido es de de 120  $m/min$  si se emplean espumas.
- La velocidad ascensional del fluido es de 1.200  $m/min$  si se emplea aire.

La limpieza y enjuague de las herramientas después de perforar con espumas es obligatoria porque se produce una reacción de corrosión en el material del que están hechas las herramientas si se deja expuesto a espumas por largos periodos de tiempo sin circulación. También se requiere engrasas las herramientas.

También se debe tener cuidado con la corrosión que se genera en el martillo de fondo, específicamente en las cavidades pequeñas en las que no se produce movimiento.

Como se aprecia en la Figura 33, se requiere de los diámetros de la tubería y la propia perforación para estimar el caudal de fluido necesario en la perforación:

$$\phi_{\text{perforación}} = 254 \text{ mm (10'')}$$

$$\phi_{\text{nominal varillaje}} = 140 \text{ mm (5 1/2'')}$$

Se tomará como velocidad óptima de salida del aire,  $1.200 \text{ m/min}$ . A partir de la Figura 33 se obtiene el valor del caudal de aire necesario en  $\text{m}^3$ :

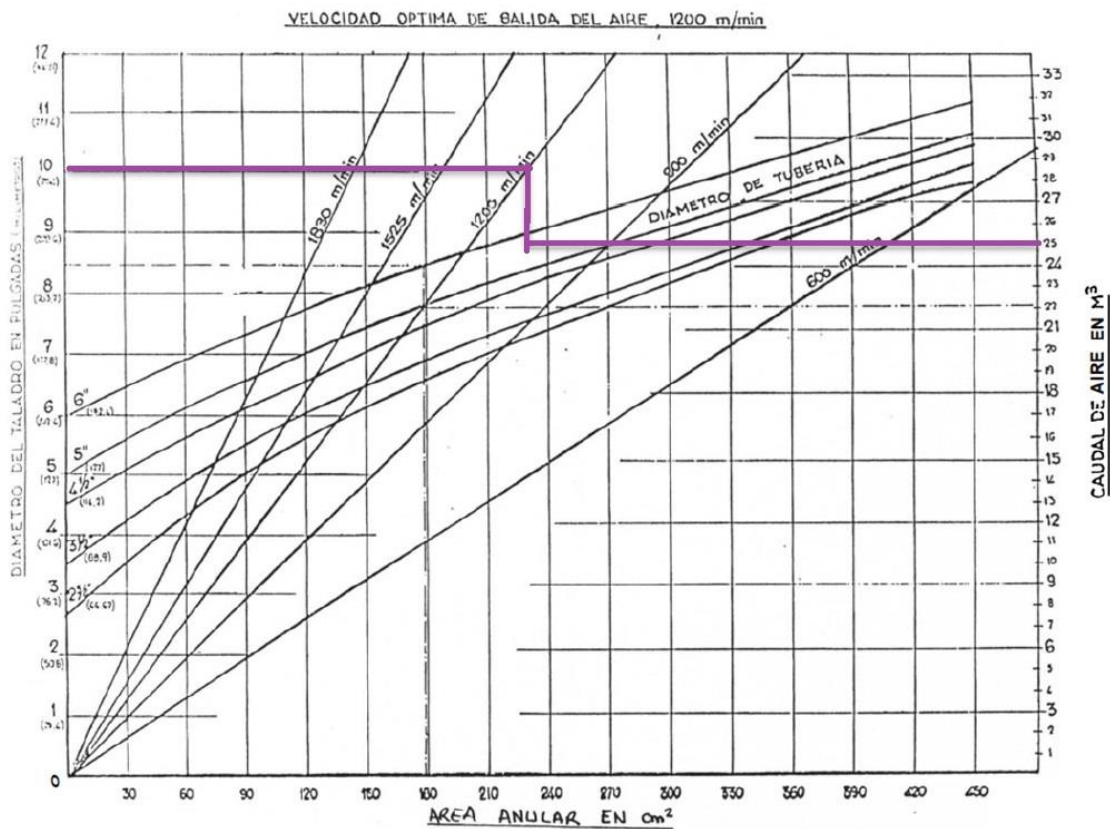


Figura 33. Caudal de aire necesario en función al área anular y el diámetro del taladro de perforación.

Aplicando una tubería de perforación de  $5 \frac{1}{2}$ '' de diámetro, y buscando obtener una velocidad en el espacio anular de  $1200 \text{ m/min}$ , es necesario un compresor que tenga al menos la capacidad de  $25 \text{ m}^3/\text{min}$ .

#### 1.14.4. Compresores

Una vez seleccionado el martillo, la boca y el varillaje, se debe seleccionar el compresor más adecuado, que vendrá determinado por las necesidades del caudal y presión necesarios para ejecutar el sondeo [16]. Al hacer uso de un martillo de fondo en el sondeo, no es necesario el uso de un compresor de alto rendimiento.

El compresor conforma una unidad independiente en el equipo de perforación. No obstante, es un elemento esencial del cual dependen los principales parámetros de la perforación. El compresor se elige en función a:

- Caudal de aire que es capaz de suministrar en  $m^3/min$ .
- Presión de suministro del aire en bar.

A fin de mejorar el caudal de aire se utilizarán espumantes tal y como se explicó previamente. El objetivo es alcanzar una velocidad ascensional de  $1200 m/min$ .

El compresor más adecuado a las exigencias de caudal de aire suministrado y presión es el compresor Atlas Copco modelo XRVS 960 E [26], cuyas características técnicas son las expresadas en la Tabla 26:

**Tabla 26. Especificaciones técnicas del compresor**

<b>Presión normal de trabajo efectiva</b>	25 bar
<b>Entrega de aire</b>	27 $m^3/min$
<b>Nivel de presión acústica a 7 m</b>	70 dB
<b>Temperatura ambiente máxima</b>	46 °C
<b>Válvula de salida</b>	1x 2'' y 1x 3/4''
<b>Potencia del motor</b>	315 kW
<b>Dimensión Montado sobre soporte</b>	3,6 x 2,1 x 2,4 m (largo x ancho x alto)
<b>Dimensión elevado para remolque</b>	4,4 x 2,2 x 2,6 m (largo x ancho x alto)

Se ha escogido un compresor moderno que:

- Incorpora funciones de seguridad tales como indicadores de presión, parada de emergencia y protección de frecuencia.
- Funciona con un motor eléctrico de alta eficacia

- Es adecuado para su uso en cualquier condición climática (-25°C a +46°C).
- Posee bajo mantenimiento.
- Calentador anticondensación para proteger los líquidos.
- Incorpora panel de instrumentos de fácil lectura.
- Su diseño silencioso ofrece bajos niveles de ruidos.
- Es seguro para el operario y el medio ambiente.
- Su bastidor robusto lo hace ideal para durar.

En la Figura 34 se representa el compresor modelo Atlas Copco modelo XRVS 960 E.



**Figura 34. Compresor Atlas Copco modelo XRVS 960 E**

### **1.15. Maquinaria de perforación escogida**

Tras determinar la profundidad a perforar, el diámetro de la tubería a utilizar, el diámetro de tubería y el varillaje entre otras características técnicas, se ha optado por la elección de una perforadora Segoqui 21[24]. Esta se visualiza en la Figura 35.



**Figura 35. Foto de equipo de perforación tipo Segoquei 21 [24]**

Se ha descartado el modelo Segoquei 10 debido a que no posee circulación directa. En la Tabla 27 se pueden apreciar las características técnicas de la perforadora escogida:

**Tabla 27. Especificaciones técnicas de la perforadora Segoquei 21 [24]**

<b>Nombre</b>	<b>Segoquei 21</b>
Propósito:	Rotopercusión y Circulación Directa.
Capacidad:	450 m de profundidad con $\varnothing 350$ 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 <i>kg.</i>
Vel. máx. Rotación:	120 <i>r.p.m.</i>
Cabeza de Rotación:	Con 3 velocidades.
Mesa inferior:	Hidráulica con 320 <i>mm</i> de paso.
Varillaje:	Ø114mm.Ø140mm y 3 <i>m</i> de longitud.
Almacén de varillas:	150 <i>m</i> , sobre propio camión.
Tipo de montaje:	Camión 6x6 ó 6x4 con P.M.A de 26.000 <i>kg.</i>
Cabrestante:	Para maniobra de 3.000 <i>kg</i> de tiro.
Varios:	Grupo de Soldadura de 300 A.
	Bomba de inyección de espuma.

En resumen, el equipo utiliza un sistema de perforación a rotoperusión con circulación directa, lo cual la hace idónea para sondeos de captación de agua subterránea.

### 1.16. Depósito de riego de prefabricada

El objetivo de la construcción de la balse de regulación es cubrir las necesidades de riego durante el periodo estival. Para este propósito, se decidió construir un depósito tipo tanque australiano.

Tomando como referencia el Anejo 4 sobre el cálculo de la capacidad requerida al depósito de riego, se ha escogido un volumen aproximado de 259,2 *m*<sup>3</sup>.

El depósito a instalar escogido proviene del catálogo comercial de la marca ILURCO [23]. Teniendo en cuenta la capacidad diseñada, se ha seleccionado el modelo 12 de 253 *m*<sup>3</sup>. Este cuenta con 11,321 *m* de diámetro y 2,51 *m* de altura. En el Plano 7/8 se muestra en detalle las dimensiones del depósito de riegos.

En la Figura 36 se muestra como es el estado final de un depósito de riego de ILURCO.



Figura 36. Depósito de riego tipo tanque australiano de ILURCO [23]

#### 1.16.1. Recubrimientos [23]

Se utilizará una chapa galvanizada en caliente por inmersión en continuo según las normas UNE – EN 10346 :15 y UNE – EN 10143 : 07. Específicamente el Sistema Dúplex (Galvanizado + Epoxi). En la Figura 37 se observa un croquis del mismo.

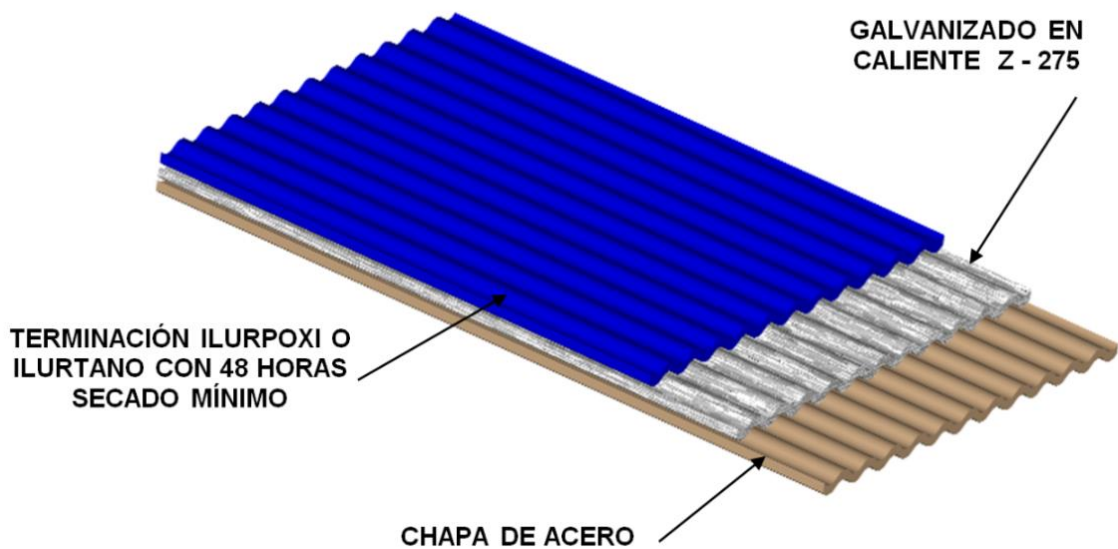


Figura 37. Croquis del recubrimiento mediante Sistema Dúplex (Galvanizado + Epoxi)



soporte para el depósito como de excavación de las zanjas de cimentación perimetral y de los tubos de salida de fondo.



**Figura 39. Fase de movimiento de tierras para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23]**

- Fase de cimentación:** Consistirá en la construcción de un zuncho perimetral de hormigón armado y pequeña dimensión (40x40 *cm*) a lo largo del perímetro del depósito; y con armado de redondos corrugados de 10 *mm* (Figura 40). La ejecución de esta fase es rápida. Este anillo de hormigón armado actúa como soporte de las paredes del depósito y deja el material compactado en la parte central sin la necesidad de formar una losa completa de hormigón en todo el fondo.



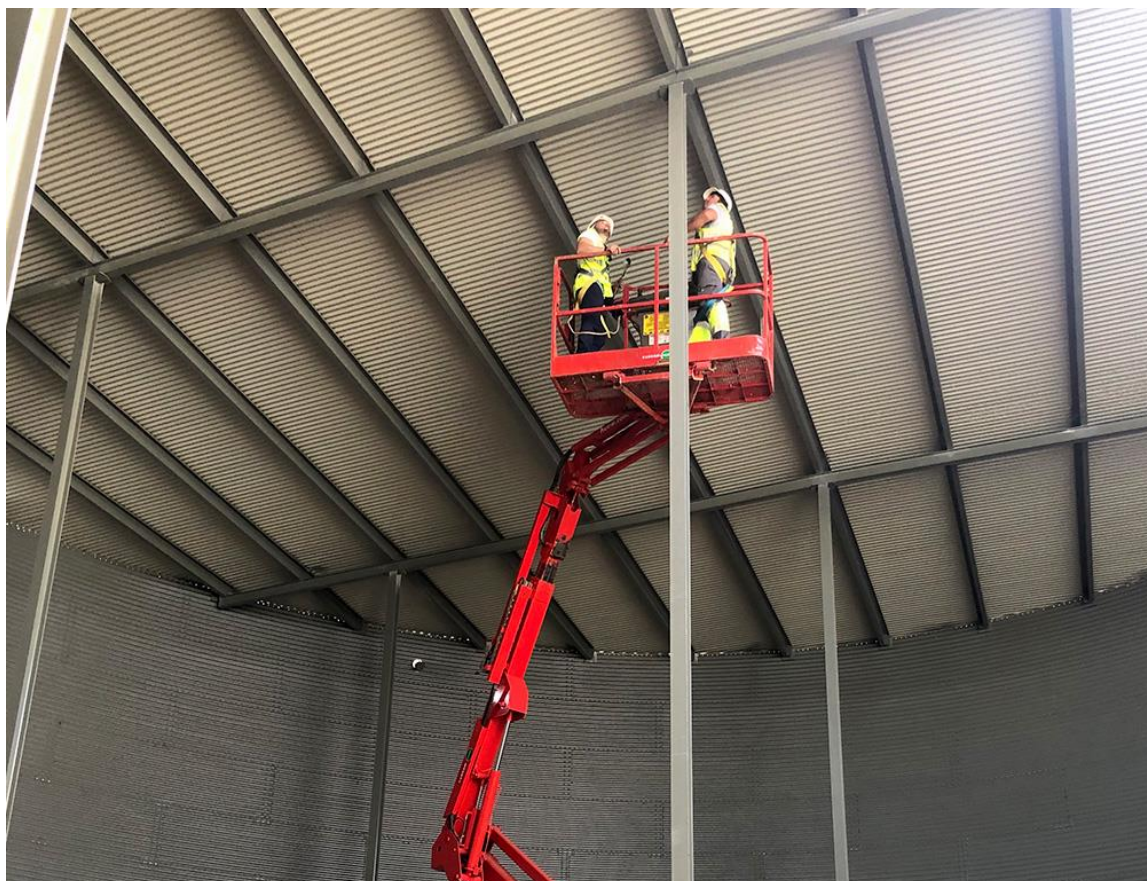
**Figura 40. Fase de cimentación. Construcción de zuncho perimetral de hormigón armado para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23]**

- 3. Fase de montaje del depósito:** Es un proceso rápido con operaciones mínimas in situ, puesto que los componentes del depósito son prefabricados. Únicamente es necesario atornillarlo en obra (Figura 41), lo cual reduce considerablemente los costes de montaje. Una vez terminado el zuncho perimetral, se monta y une al primer anillo de la chapa. A continuación, se sigue el mismo proceso con los demás anillos. Se coloca la cubierta (opcional) y el suelo de lámina impermeabilizante que queda atornillada a la balsa. Por último, se examinan posibles arañazos a la pintura del depósito de riego.



**Figura 41. Fase de montaje para instalación del depósito prefabricado ILURCO [23]**

- 4. Fase de montaje de cubiertas:** Después de montar el depósito, se sueldan los pilares en las placas previstas y se suben las vigas y correas (Figura 42). Estas se unen al depósito a través de piezas de diseño especial que evitan la transmisión de esfuerzos no previstos de la cubierta al depósito. Finalmente se colocan las chapas de cubierta, la puerta de acceso y el remate perimetral que tapa los orificios de ventilación, que evitan el acceso de suciedad o animales dentro del depósito, pero permiten la ventilación del depósito.



**Figura 42. Fase de montaje de cubiertas para instalación del depósito prefabricado ILURCO**  
[23]

### **1.17. Condiciones generales de ejecución de obra**

El contratista que realizará la obra dispondrá de todos los permisos, licencias y certificados necesarios para la realización de la obra de acuerdo con la legislación vigente.

La Dirección de Obra será dirigida por una autoridad competente; en este caso, cualquier persona en la profesión regulada de ingeniero de minas titulado. La responsabilidad recaerá sobre la Dirección de Obra.

Tras la finalización de los trabajos de apertura, se realizarán las pruebas pertinentes para confirmar el contenido de este estudio técnico. Asimismo, durante el desarrollo de los trabajos se confirmará mediante muestreo la columna litológica; trabajo realizado por el Contratista bajo la supervisión de la Dirección de Obra.

En la realización de los trabajos, el contratista deberá asegurarse de que todos los equipos, maquinarias, herramientas y demás elementos utilizados se encuentren en las

mejores condiciones de funcionamiento. Además, todos estos equipos y herramientas de trabajo deben tener la marca CE y cumplir con los requisitos de calidad especificados en los actos reglamentarios pertinentes. En última instancia, será responsabilidad de la Dirección de Obra comprobar si todos los equipos, maquinarias, herramientas y demás elementos utilizados cumplen los requisitos exigidos por las correspondientes normas de calidad.

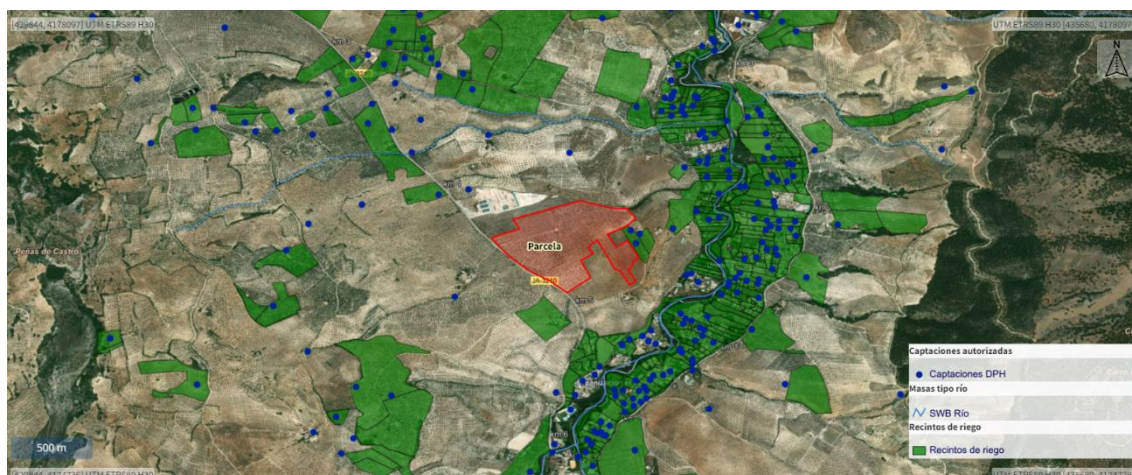
### 1.18. Captaciones ajenas y sondeos próximos

De acuerdo con la normativa vigente, las nuevas cuencas de captación de aguas subterráneas deben implementarse sin afectar las cuencas de captación adyacentes.

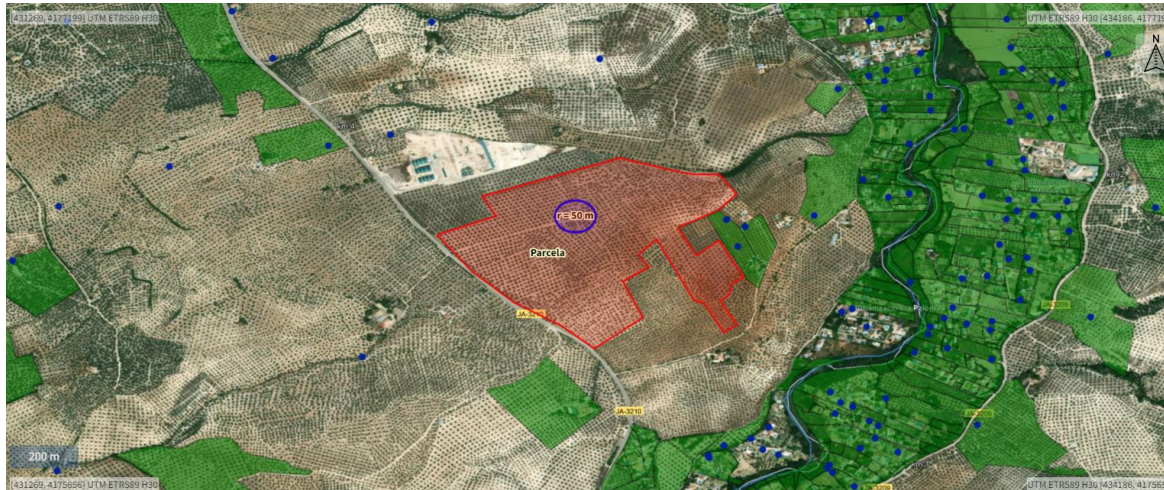
Según el “Plan Hidrológico de la DH del Guadalquivir [30]”, con base en lo previsto en el artículo 87.2 del “Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH) [29]” y a fin de proteger el estado del dominio público hidráulico, las distancias mínimas entre pozos que puedan acogerse a la consideración de uso privativo por disposición legal según el artículo 54 del “Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) [31]”, será en este caso:

- Las zonas de aguas en malas condiciones cuantitativas y cuencas con caudal superior a 3000 m<sup>3</sup> tendrán un círculo de exclusión de 50 metros de radio.

En la Figura 43a se muestran las captaciones próximas a la parcela del estudio técnico [5] según la CHDG. Aplicando un radio de 50 metros al punto sobre el que se realizará el sondeo (Figura 43b), se aprecia que no hay sondeos próximos en 50 metros de radio.



(a)



(b)

**Figura 43. (a) Croquis general de captaciones cercanas [5]; (b) Detalle captaciones y sondeos próximos en relación a 50 metros del sondeo [5]**

### 1.19. Estudio de impacto ambiental

El anexo I de la “Ley de Gestión Integral de la Calidad Ambiental [27]”, muestra toda actividad en la se debe aplicar actuaciones preventivas y de control ambiental. En el caso de este estudio técnico, al conformar una captación de agua subterránea, es aplicable la categoría 8.2. definida como “Extracción de aguas subterráneas o la recarga artificial de acuíferos, si el volumen anual de agua extraída o aportada es superior a 1.000.000 de metros cúbicos”.

En el caso de estudio, se extrae un volumen de aproximadamente 37.000 metros cúbicos, que es una cifra inferior a 1.000.000 de metros cúbicos de agua, por lo que no es necesaria la conocida como AAU, es decir, Autorización Ambiental Unificada. Con lo que se considera que la implantación del sondeo no supondrá una afección al medio ambiente.

También considerando la “Ley de Evaluación Ambiental [28]”, es de carácter obligatorio redactar un EIA (Estudio de Impacto Ambiental) en las actividades expuestas en el Anexo I. La captación de aguas objeto de estudio forma parte del “Grupo 7. Proyectos de Ingeniería hidráulica y de gestión de agua”, en el que se manifiesta la obligación de EIA en proyectos en los que el volumen de agua sea igual o superior a 10 hectómetros cúbicos.

La presente captación, pertenece al “Grupo 7. Proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua”, en la que se expone que será obligatorio para proyectos de extracción de aguas subterráneas en las que el volumen anual de agua extraída sea igual o superior a 10

hectómetros cúbicos. Por tanto, al ser el caudal de extracción inferior a esta cifra, tampoco sería obligatoria la redacción de un Estudio de Impacto Ambiental.

No obstante, en la misma ley, atendiendo a la Categoría 9.5: los proyectos de gestión de recursos hídricos para la agricultura, con inclusión de proyectos de riego o de avenamientos de terreno, si estos afectan a una superficie mayor de 10 hectáreas, será obligatorio la realización de un Estudio de Impacto Ambiental para solicitar una AAU.

Por ello, será necesario un EIA y una AAU. No obstante, no es objeto de estudio en un estudio técnico, siendo esta parte del futuro proyecto.

### 1.20. Obras y servicios afectados

Durante la ejecución del estudio técnico no se han identificado obras y/o servicios afectados, que pudieran verse perturbados por la ejecución de las obras. Si ocurrieran imprevistos durante la ejecución de las obras, la Dirección de Obra está obligada a tomar decisiones y corregir o cambiar las acciones a realizar, así como informar con anticipación a las instituciones correspondientes.

### 1.21. Afecciones a vías pecuarias

Según la información obtenida mediante el visor del CHDG, no consta dentro del entorno de la captación la actividad de ningún grupo protegido, así como afección a vías públicas o privadas (Figura 44).

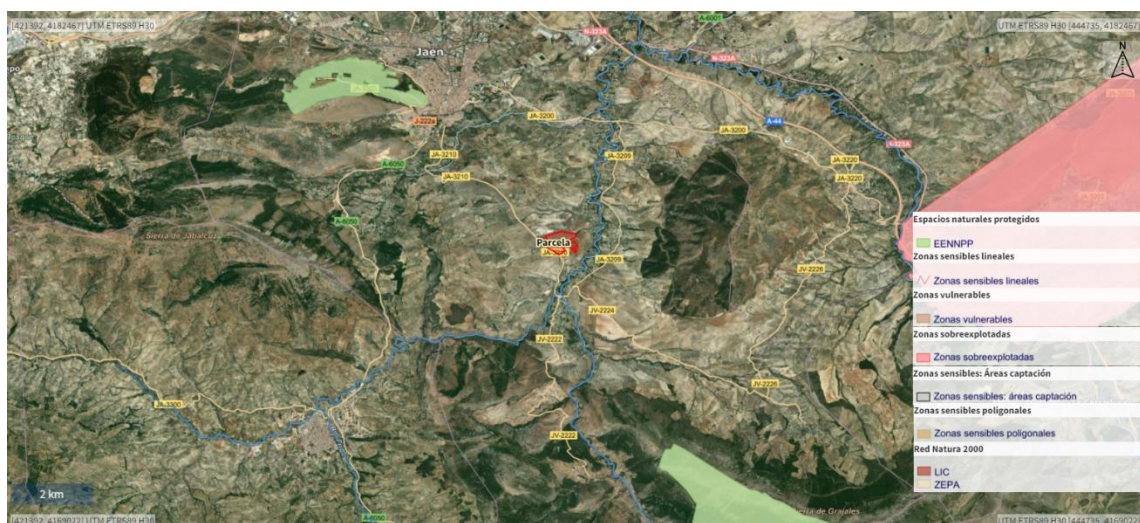


Figura 44. Impacto en vías pecuarias y otras consideraciones ambientales [5]

## 1.22. Conclusión

En conclusión, este estudio técnico ha demostrado la viabilidad de realizar un sondeo de captación de aguas subterráneas y la construcción de una balsa para el abastecimiento de usos agrícolas en la provincia de Jaén.

A través del análisis de los recursos hídricos disponibles en la zona, el estudio geológico del subsuelo y la evaluación de la viabilidad geotécnica, normativa y ambiental, se ha determinado que existen recursos hídricos subterráneos suficientes y de buena calidad para el riego de cultivos agrícolas en la zona estudiada.

Además, se ha demostrado que la captación de agua subterránea y la construcción de una balsa son una alternativa sostenible y viable para el riego de cultivos en la provincia de Jaén. El estudio realizado es un paso importante para mejorar la sostenibilidad del riego agrícola en la región y contribuir a una agricultura más sostenible y eficiente.

En el Plano 6/8 se aprecia la vista en perfil del sondeo y la bomba sumergible. En el Plano 7/8 se aprecia una vista en planta de toda la instalación.

## 2. ANEJOS A LA MEMORIA

### 2.1. Anejo 1. Estudio Geotécnico

El anejo sobre el Estudio Geotécnico del sitio de trabajo es primordial para identificar el área a fin de obtener información sobre el tipo de suelo sobre el cual se realizarán los trabajos descritos en el Estudio técnico. Esto se hará mediante el muestro y la realización de ensayos geotécnicos.

Además de determinar las propiedades geomecánicas que inciden en la perforación, también se determinarán las propiedades geotécnicas del suelo que compone la explanada para el depósito y las demás instalaciones.

Para ello es necesario tomar muestras in situ a través de 3 catas realizada mediante retroexcavadora en distintos puntos del terreno donde se situará el sondeo y la balsa (Figura 45).



**Figura 45. Croquis de ubicación de las catas en el perímetro de la obra**

Como resultado de las catas, en la Tabla 28 se muestran los estratos y las profundidades a los que están.

**Tabla 28. Estratos y su profundidad encontrados a lo largo de las catas**

	<b>Estrato</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Cata 1</b>	Tierra vegetal	0,00 m – 0,80 m
	Gravas limosas con bloques y arenas	0,80 m – 3,40 m
<b>Cata 2</b>	Tierra vegetal	0,00 m – 0,40 m
	Gravas limosas con bloques y arenas	0,40 m – 3,50 m
<b>Cata 3</b>	Tierra vegetal	0,00 m – 1,20 m
	Gravas limosas con bloques y arenas	1,20 m – 3,10 m

Tras este paso, la muestra es enviada al laboratorio para los correspondientes ensayos. Los siguientes ensayos se utilizan para obtener las propiedades geotécnicas del suelo:

Los ensayos realizados son:

- Preparación de muestras para ensayos de suelos (UNE 103100:1995) [17].
- Ensayo granulométrico (UNE-EN ISO 17892-4:2019) [14]: Se lleva a cabo un análisis granulométrico a partir de una muestra de 2 kg de la tierra tomada in situ tras la cata.
- Límites de Atterberg (UNE-EN ISO 17892-12:2019) [15]: Al igual que el ensayo granulométrico son necesarios para la clasificación del suelo y su interpretación como cimiento del depósito.
- Ensayo Proctor Normal (UNE 103500:1994) [17].

La totalidad de las catas realizadas han mostrado la existencia de una fina capa de terreno vegetal y otra correspondiente a un nivel detrítico compuesto por gravas principalmente. Será la capa que se analiza en este estudio.

### *2.1.1. Marco Geológico.*

#### *2.1.1.1. Excavabilidad y ripabilidad [21]*

Durante la excavación, pueden ocurrir los siguientes grados de dificultad:

- **Fáciles:** En materiales que se pueden excavar a partir de los métodos tradicionales existentes: retroexcavadora o similares.

- **Medios:** En materiales que requieren el uso parcial de martillo picador y/o voladuras.
- **Difíciles:** En aquellos materiales en los que requieren el empleo continuado de martillo y/o voladuras.

Una vez considerado el estudio de prospección geofísica visto en el subapartado 1.9. de la memoria, se procede a estimar la excavabilidad y ripabilidad de los materiales. Para ello, se tendrá en cuenta los valores medios de resistencia a la compresión simple (en MPa) de cada capa (Tabla 29):

**Tabla 29. Excavabilidad y Ripabilidad de la columna estratigráfica [21]**

<b>Roca</b>	<b>Rango de resistencia a la compresión simple (MPa)</b>	<b>Clasificación</b>
Suelo vegetal	0,5	Fácil
Material detrítico de Gravas limosas	100 – 250	Medio (no bolos como se verá en la granulometría)
Margas blancas	70 – 140	Fácil
Calizas grises	80 – 140	Fácil

### 2.1.2. Cata 1

#### 2.1.2.1. Análisis Granulométrico

En la Tabla 30 se muestran los resultados obtenidos del análisis granulométrico.

**Tabla 30. Cata 1: Resultados del análisis granulométrico**

<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Pasante (%)</b>	<b>Retenido acumulado (%)</b>
<b>100</b>	100,00	0,00
<b>80</b>	100,00	0,00
<b>63</b>	100,00	0,00
<b>50</b>	100,00	0,00
<b>40</b>	100,00	0,00
<b>25</b>	100,00	0,00
<b>20</b>	94,20	5,80
<b>12,5</b>	90,63	9,37
<b>10</b>	85,40	14,60

<b>6,3</b>	67,40	32,60
<b>5</b>	50,30	49,70
<b>2</b>	37,12	62,88
<b>1,25</b>	28,10	71,90
<b>0,4</b>	22,78	77,22
<b>0,160</b>	15,40	84,60
<b>0,080</b>	13,90	86,10

En la Figura 46 se muestra la representación de estos resultados mediante la Curva Granulométrica.

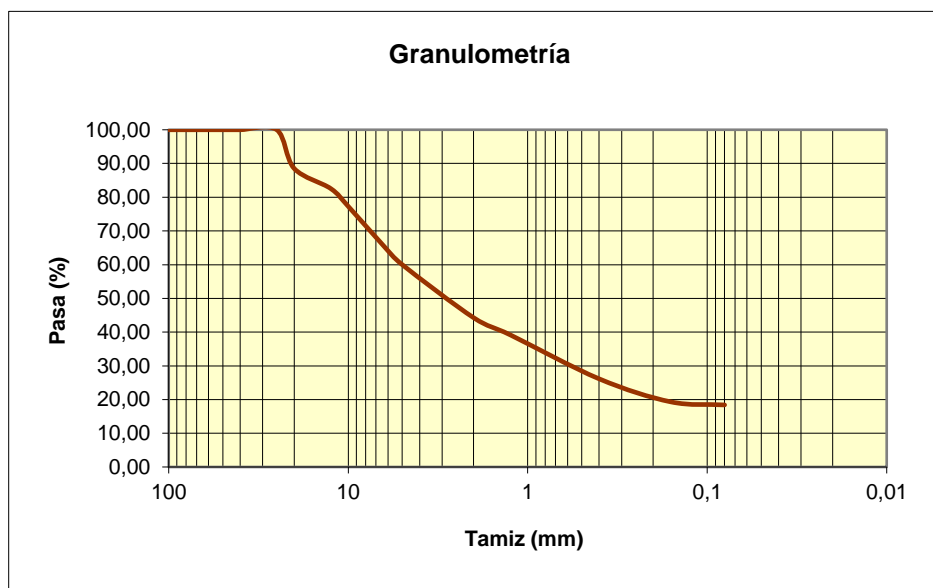


Figura 46. Cata 1: Curva Granulométrica

#### 2.1.2.2. Límites de Atterberg

En la Tabla 31 se muestran los resultados respecto a los límites líquido y plástico, además del índice de plasticidad.

Tabla 31. Cata 1: Resultados límites de Atterberg

<b>CATA 1</b>	
Límite Líquido	6,10%
Límite Plástico	3,93%
Índice de Plasticidad	2,17%

En la Figura 47 se muestra la Carta de Plasticidad de Casagrande obtenido.

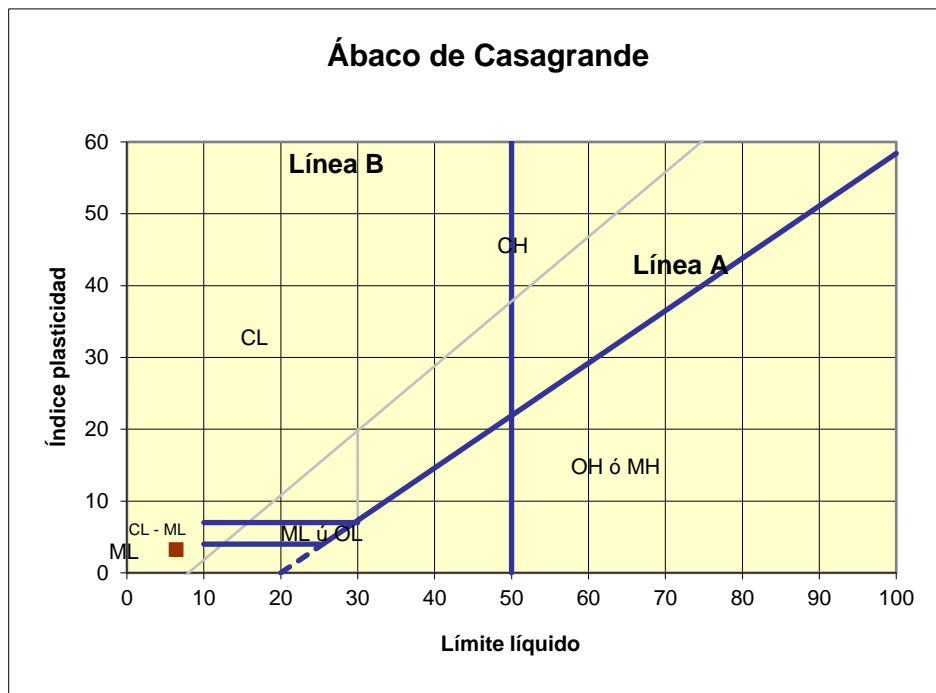


Figura 47. Cata 1: Carta de Plasticidad de Casagrande

### 2.1.3. Cata 2

#### 2.1.3.1. Análisis Granulométrico

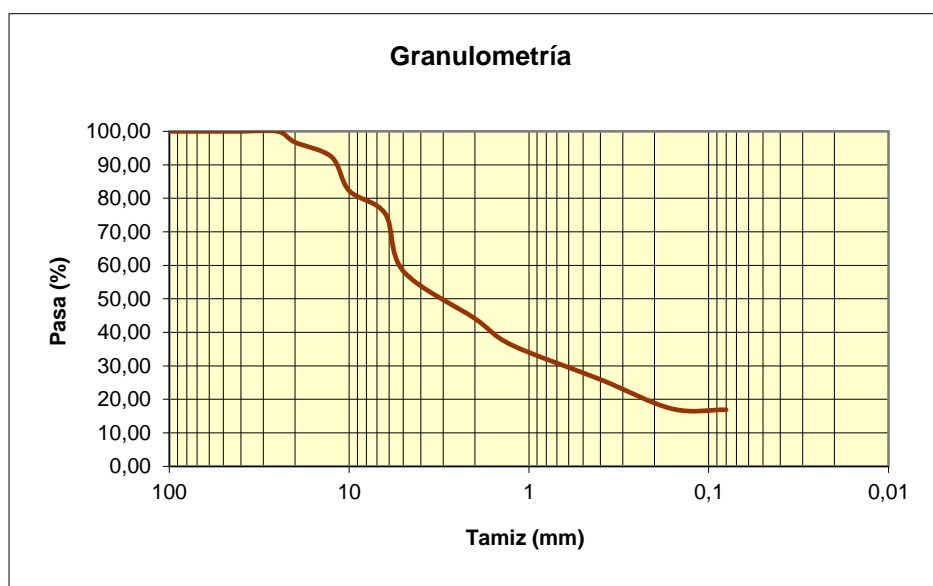
En la Tabla 32 se muestran los resultados obtenidos del análisis granulométrico.

Tabla 32. Cata 2: Resultados del análisis granulométrico

Tamiz (mm)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)
100	100,00	0,00
80	100,00	0,00
63	100,00	0,00
50	100,00	0,00
40	100,00	0,00
25	100,00	0,00
20	96,74	5,80
12,5	92,33	9,37
10	82,29	14,60
6,3	75,43	32,60
5	58,29	49,70
2	44,14	62,88
1,25	36,26	71,90

<b>0,4</b>	25,93	77,22
<b>0,160</b>	17,20	84,60
<b>0,080</b>	16,90	86,10

En la Figura 48 se muestra la representación de estos resultados mediante la Curva Granulométrica.



**Figura 48. Cata 2: Curva Granulométrica**

### 2.1.3.2. Límites de Atterberg

En la Tabla 33 se muestran los resultados respecto a los límites líquido y plástico, además del índice de plasticidad.

**Tabla 33. Cata 2: Resultados límites de Atterberg**

<b>CATA 2</b>	
Límite Líquido	6,34%
Límite Plástico	3,23%
Índice de Plasticidad	3,11%

En la Figura 49 se muestra la Carta de Plasticidad de Casagrande obtenido.

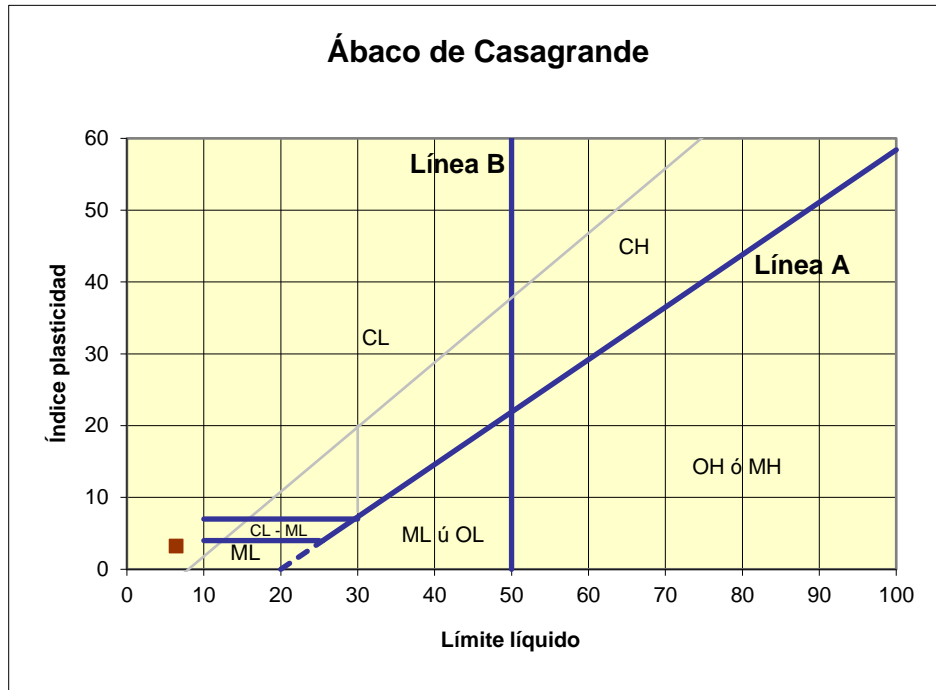


Figura 49. Cata 2: Carta de Plasticidad de Casagrande

2.1.4. Cata 3

2.1.4.1. Análisis Granulométrico

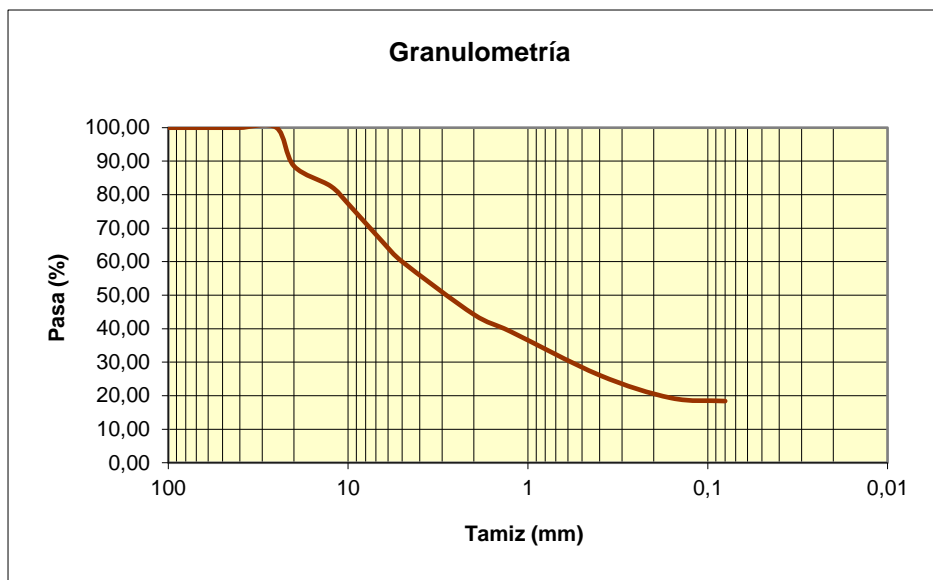
En la Tabla 34 se muestran los resultados obtenidos del análisis granulométrico.

Tabla 34. Cata 3: Resultados del análisis granulométrico

Tamiz (mm)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)
100	100,00	0,00
80	100,00	0,00
63	100,00	0,00
50	100,00	0,00
40	100,00	0,00
25	100,00	0,00
20	88,53	11,47
12,5	82,55	17,45
10	77,30	22,70
6,3	65,38	34,62
5	59,99	40,01
2	44,26	55,74
1,25	39,17	60,83
0,4	26,14	73,86

<b>0,160</b>	19,33	80,67
<b>0,080</b>	18,40	81,60

En la Figura 50 se muestra la representación de estos resultados mediante la Curva Granulométrica.



**Figura 50. Cata 3: Curva Granulométrica**

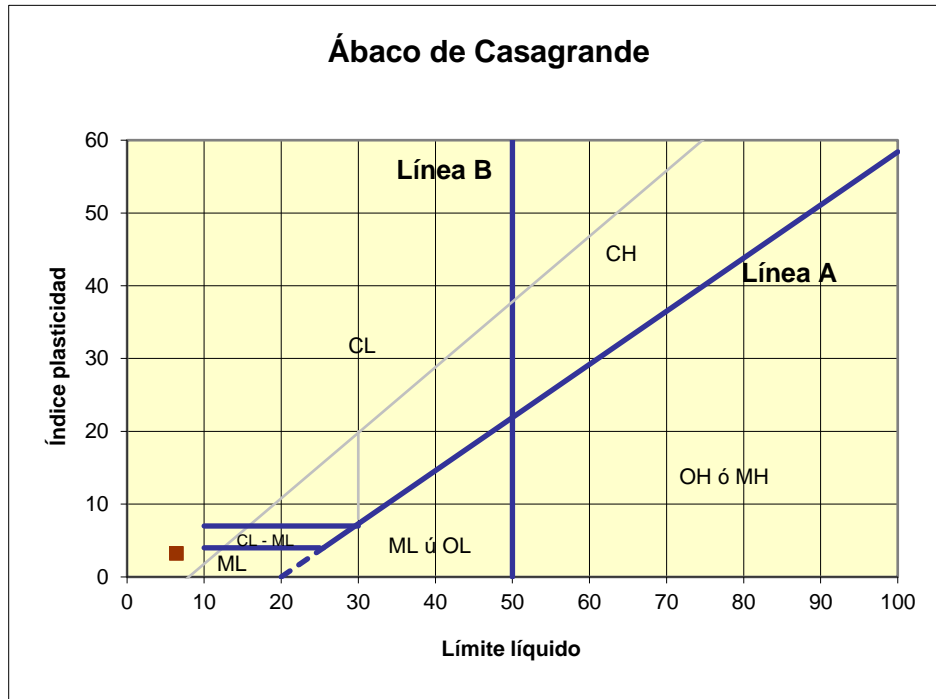
#### 2.1.4.2. Límites de Atterberg

En la Tabla 35 se muestran los resultados respecto a los límites líquido y plástico, además del índice de plasticidad.

**Tabla 35. Cata 3: Resultados límites de Atterberg**

<b>CATA 3</b>	
Límite Líquido	6,42%
Límite Plástico	3,19%
Índice de Plasticidad	3,23%

En la Figura 51 se muestra la Carta de Plasticidad de Casagrande obtenido.



**Figura 51. Cata 3: Carta de Plasticidad de Casagrande**

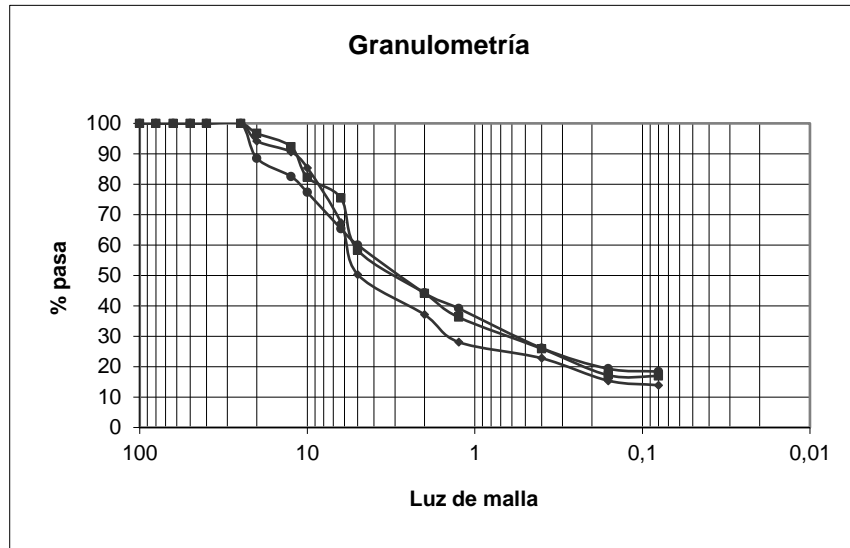
#### 2.1.5. *Compacidad*

No procede la realización del ensayo proctor Normal, puesto que en líneas generales, la capa está formada por gravas muy densas y compactas.

#### 2.1.6. *Expansividad*

Los finos existentes son mayormente limos, por tanto no se considera necesario realizar ensayos de hinchamiento libre o de índice de colapso

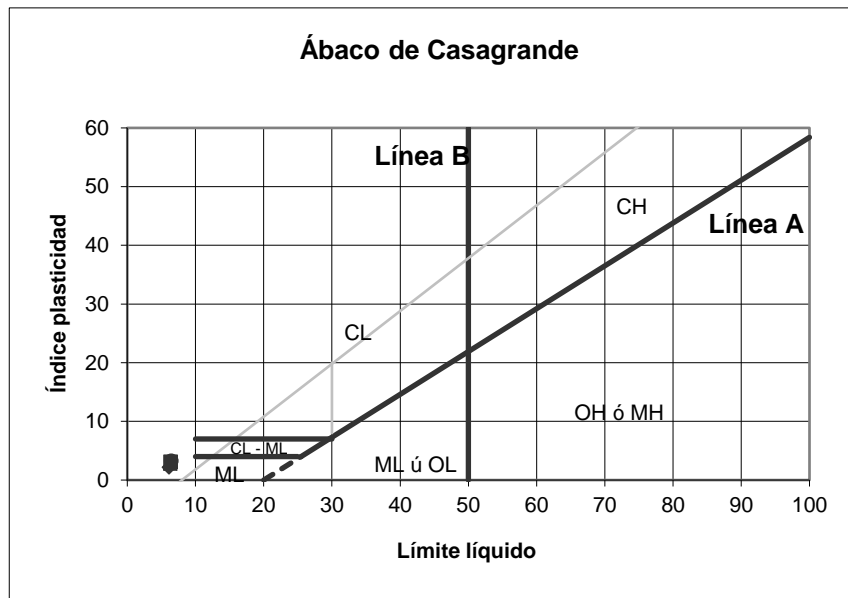
#### 2.1.7. *Resultados y conclusiones*



**Figura 52. Comparación Curvas Granulométricas de las tres catas**

Como se puede apreciar en la Figura 52 La media de los análisis granulométricos son muy similares entre si. Y arrojan como resultado un terreno constituido por gravas arenosas que contienen algo de limos:

- **Gravas:** 56,19%
- **Arenas:** 27,41%
- **Finos:** 16,40%



**Figura 53. Comparación Carta de Plasticidad de Casagrande de las tres catas**

En la Figura 53 se muestra que el límite líquido medio es del 6,42% y el índice de plasticidad es del 3,23%. Según la carta de Casagrande, los finos corresponden a limos no plásticos, arcillas de baja plasticidad (CL) y arcillas de carácter limoso (CL – ML).

La Figura 54 muestra que según el sistema USCS (Sistema Unificado de clasificación de suelos), el suelo estudiado es de tipo Grava limosa con arena (GM). Es un suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio). Se considera material granular de excelente a bueno como cimiento para la balsa. Los finos son pocos y de naturaleza limosa, con ligera plasticidad.

SISTEMA CLASIFICACION USCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	< 0.73 (wl-20) ó <4 > 0.73 (wl-20) ó >7
	GP			≤ 6	<16>3	
	GM		> 12			
	GC					
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	< 0.73 (wl-20) ó <4 > 0.73 (wl-20) y >7
	SP			≤ 6	<16>3	
	SM		> 12			
	SC					
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.						
*** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
** Si $IP \geq 0.73 (wl-20)$ ó si $IP$ entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (wl-20)$ , usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_U = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_C = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$		

(a)

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobrementemente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

(b)

Figura 54. (a) Clasificación geotécnica del terreno según la USCS; (b) Leyenda

Añadir que la campaña geotécnica corrobora las conclusiones del estudio geológico y la prospección geofísica, lo cual indica que el estudio técnico se ha realizado correctamente.

## **2.2. Anejo 2. Métodos de cálculo empleados**

Los métodos de cálculo empleados en el desarrollo de este estudio técnico han sido los aprendidos en las diferentes asignaturas a lo largo del Grado en Ingeniería de Tecnologías Mineras, tanto en la especialidad de Sondeos y Prospecciones Mineras como en la de Explotación de Minas. Demostrando que tras cursar dicho plan de estudios se han adquirido las competencias necesarias para diseñar el proyecto de un sondeo.

## **2.3. Anejo 3. Cálculos hidráulicos**

### *2.3.1. Caudal de agua necesario*

Para calcular el caudal necesario para una finca, en primer lugar es necesario conocer cuántos olivos crecen en ella, así como cuánta agua necesita cada olivo.

Considerando que la finca tiene 24,668 *ha* y una superficie de plantación de 10x10 m (tradicional), o lo que es lo mismo 100 olivos por hectárea, el número total de olivos de regadío es de 2467.

#### *2.3.1.1. Capacidad máxima de extracción diaria del sondeo*

En el presente estudio técnico, se considera importante tener en cuenta la capacidad máxima de extracción diaria del sondeo, debido a que el caudal disponible máximo del acuífero es bajo ( $Q = 2,5 \text{ l/s} = 9 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Sabiendo que el caudal se expresa como unidad de volumen en el tiempo, se ha propuesto la Expresión (8):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (8)$$

Considerando que la bomba sumergible trabajará como mucho 20 horas diarias, el volumen máximo a extraer durante un día será:

$$V_{\text{sondeo}} = 9 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 20 \text{ h} = 180 \text{ m}^3 \text{ diarios}$$

No se podrá extraer más de 180  $\text{m}^3$  diarios, siendo esta una limitación importante.

#### *2.3.1.2. Horas máximas de riego diarias*

Para la instalación de riego, se considera la implantación dos goteros de 8 l/h por cada olivo, por lo que se requiere 16 l/h de agua por olivo. Conocido el número de olivos, se procede a calcular el caudal total diario requerido por el olivar a partir de la Expresión (9)

$$Q = \frac{Q_{gotero} (l/h) \cdot n^{\circ}olivos}{3600} \quad (9)$$

Resolviendo:

$$Q = \frac{16 l/h \cdot 2467 olivos}{3600} = 10,96 l/s$$

O lo que es lo mismo:

$$Q = 10,96 l/s = 39,46 m^3/h$$

Teniendo en cuenta el volumen límite de extracción diaria del sondeo de 180 m<sup>3</sup>, se aplica la Expresión (8) para obtener las horas máximas posibles de riego diarias:

$$t = \frac{V_{sondeo}}{Q_{riego}} = \frac{180 m^3}{39,47 m^3/h} = 4,56 h$$

Por tanto, se conoce que no se podrá exceder las 4,56 h de riego diario debido a la limitación de capacidad del acuífero. Es por ello que se escoge la opción de 4,5 horas diarias de riego.

### 2.3.2. Calendario de riego

Para diseñar el calendario de riego se ha considerado que se regará el todo el olivar a la misma vez. También se ha hecho uso del servicio proporcionado por la Junta de Andalucía SERVIFAPA – Programación del Riego y la Fertilización del Olivar [22].

Otro factor que considerado ha sido los 15.000 litros de agua de riego anuales por olivo propuestos por la Confederación hidrográfica del Guadalquivir (CDHG). Partiendo de esta base se ha tratado de optimizar en la medida de lo posible el calendario de riego.

Tanto el número de riegos (días de riego) como las horas de riego diarias se han tenido en cuenta a la hora de elaborar el calendario de riego (Tabla 36). La cantidad de riegos durante los meses de verano es mayor, ya que es cuando llueve menos y se requiere más riego.

Tabla 36. Calendario anual de riego por olivo

Mes	l/h	Nº de Horas al día	Nº de riegos	Horas	Litros
Marzo	16	4,5	16	72	1152
Abril	16	4,5	23	103,5	1656
Mayo	16	4,5	31	139,5	2232
Junio	16	4,5	30	135	2160
Julio	16	4,5	31	139,5	2232
Agosto	16	4,5	31	139,5	2232
Septiembre	16	4,5	30	135	2160
Octubre	16	4,5	16	72	1152
<b>TOTAL</b>			208	936	14976

### 2.3.3. Volumen de agua requerido

Partiendo de la Expresión (8), se obtiene el volumen de agua diario total que requiere la plantación.

$$V_{diario} = 39,46 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 4,5 \text{ h} = 177,57 \text{ m}^3$$

O lo que es lo mismo 177.570 litros.

Por otra parte, para calcular el volumen anual se ha tenido en cuenta los 208 días de riego, con lo que este sería:

$$V_{anual} = 177,57 \text{ m}^3 \cdot 208 \text{ días} = 36.934,56 \text{ m}^3$$

O lo que es lo mismo 36.934.560 de litros.

### 2.3.4. Velocidad del agua

En este apartado se estimará la velocidad del agua a través de la tubería, para ello se aplican las Expresiones (10) y (11). Se considerará para ello un diámetro de tubería de impulsión de 100 mm.

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (10)$$

$$Q = V \cdot S \rightarrow V = \frac{Q}{S} \quad (11)$$

Resolviendo la Expresión (10):

$$S = \pi \cdot \left(\frac{0,1 \text{ m}}{2}\right)^2 = 0,007854 \text{ m}^2$$

Resolviendo la Expresión (11):

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{39,46 \text{ m}^3/\text{h}}{0,007854 \text{ m}^2} = \frac{0,01096 \text{ m}^3/\text{s}}{0,007854 \text{ m}^2} = 1,396 \text{ m/s}$$

### 2.3.5. Número de Reynolds

A través de la Expresión (12) se estima el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{D \cdot V \cdot d}{\mu} \quad (12)$$

Siendo:

- $D$  (Diámetro de la tubería de impulsión) = 10 cm
- $V$  (Velocidad) = 139,6 cm/s
- $d$  (Densidad) = 1 g/cm<sup>3</sup>
- $\mu$  (Viscosidad) = 0,01

Resolviendo la Expresión (12)

$$R_e = \frac{10 \cdot 139,6 \text{ cm/s} \cdot 1 \text{ g/cm}^3}{0,01} = 139600$$

### 2.3.6. Rugosidad relativa

Considerando que la tubería de impulsión posee 100 mm de diámetro, lo que equivale a casi 4 pulgadas, y que el tipo de tubería a utilizar será de hierro galvanizado, se obtiene la rugosidad relativa por medio del diagrama de la Figura 55:

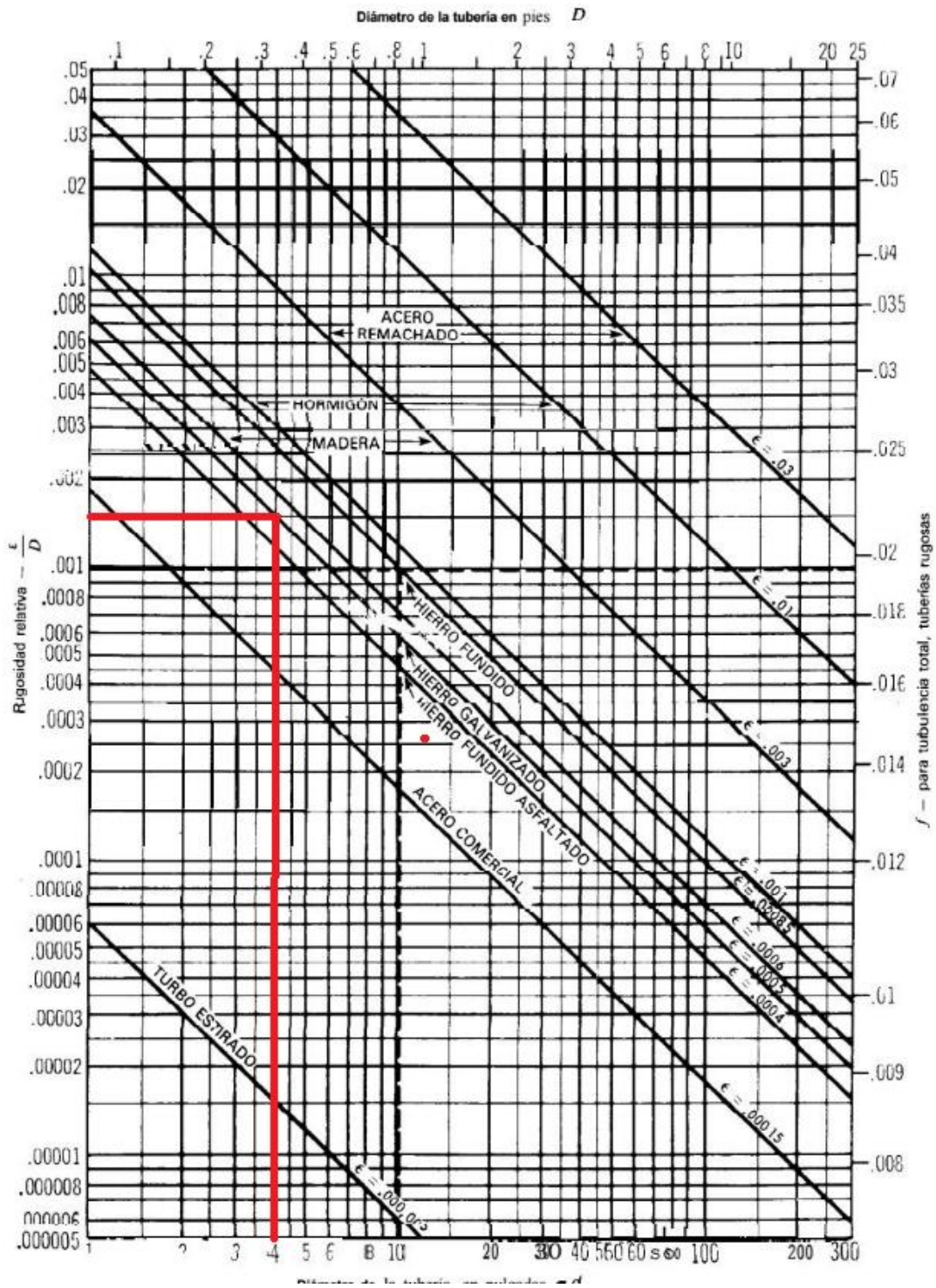


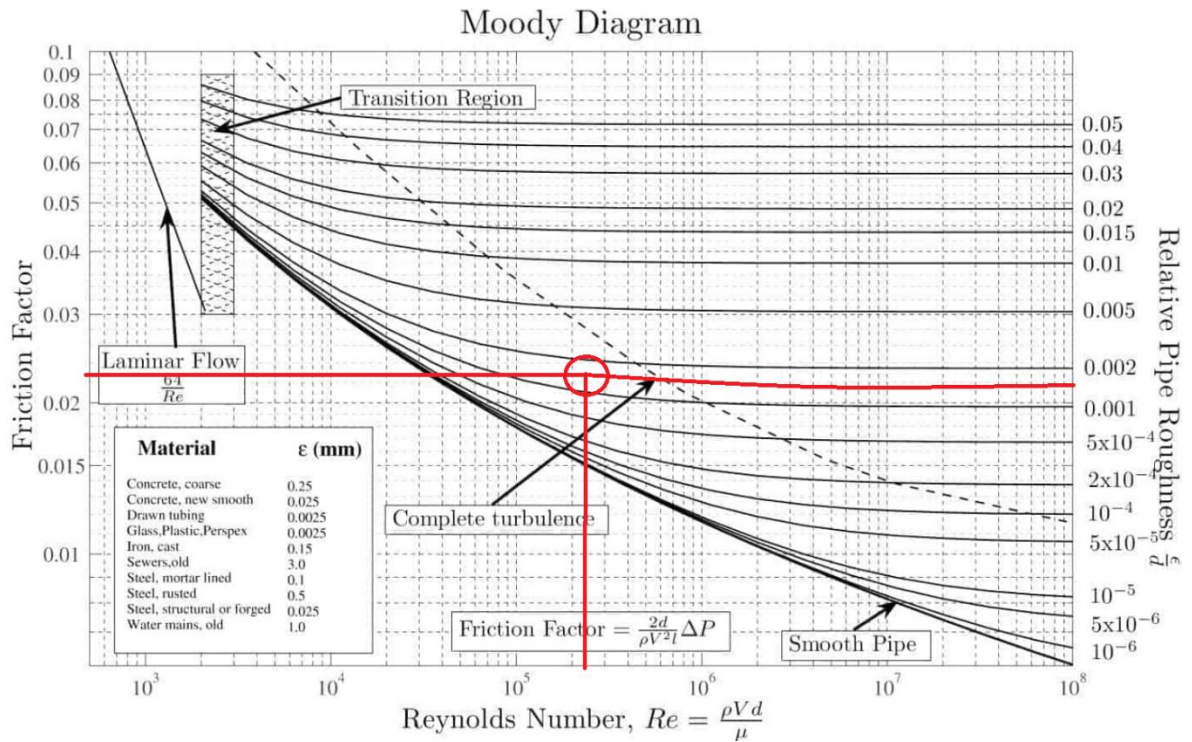
Figura 55. Diagrama de obtención de factor de fricción de la tubería en función del diámetro y los materiales empleados

Por tanto, la rugosidad relativa será:

$$\frac{K}{D} = 0,0015$$

### 2.3.7. Coeficiente de rozamiento

Para obtener el coeficiente de rozamiento se hace uso del diagrama de Moody (Figura 56). Para ello se emplean los del número de Reynolds y rugosidad relativa.



**Figura 56. Diagrama de Moody para el cálculo del coeficiente de rozamiento**

El valor del coeficiente de rozamiento será por tanto de:

$$f = 0,023$$

### 2.3.8. Pérdidas de carga

Para diseñar un grupo de bombeo, es necesario calcular las pérdidas de carga de todos los elementos que estarán incorporados. Estos se resumen en la Tabla 37:

**Tabla 37. Características Elementos auxiliares en la instalación de bombeo**

Elemento auxiliar	Número de elementos
Codo 90°	1
Contador	1
Válvula abierta	1

Se obtendrán las longitudes equivalentes de las pérdidas de carga de cada elemento auxiliar a través del nomograma de la Figura 57:

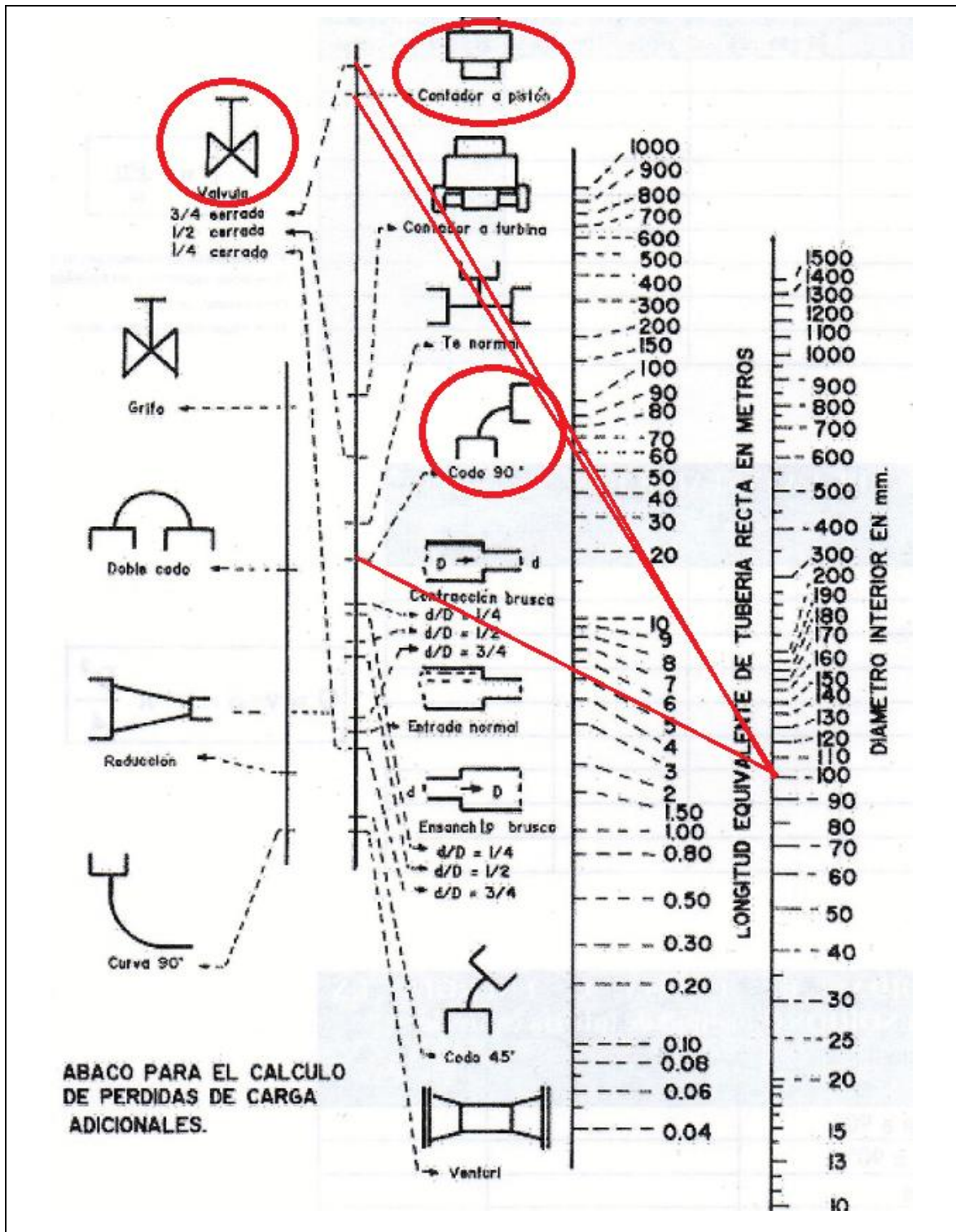


Figura 57. Nomograma para la determinación de pérdidas de carga localizadas

En la Tabla 38 se muestran las longitudes equivalentes obtenidas de la Figura 57 y de la tubería, que es de 110 m.

**Tabla 38. Longitudes equivalentes de las pérdidas de carga de cada elemento auxiliar y de la tubería**

<b>Elemento auxiliar</b>	<b>Longitud</b>
Codo 90°	5,5 m
Contador	70 m
Válvula abierta	60 m
Metros de tubería	110 m
<b>TOTAL</b>	<b>245,5 m</b>

En total hay 245,5 m de longitud equivalente. Aplicando la Expresión (13) de Darcy – Weissbach se obtienen las pérdidas de carga totales:

$$H_r = 0,0827 \cdot f \cdot L \cdot \frac{Q^2}{D^5} \quad (13)$$

Donde:

- $f$  (Coeficiente de rozamiento) = 0,023
- $L$  (Longitud de tubería total) = 245,5 m
- $Q$  (Caudal) = 0,01096 m<sup>3</sup>/s
- $D$  (Diámetro de la tubería) = 0,1 m

Por tanto, resolviendo la Expresión (13) se obtienen las pérdidas de carga totales:

$$H_r = 0,0827 \cdot 0,023 \cdot 245,5 m \cdot \frac{0,01096^2}{(0,1 m)^5} = 5,61 m$$

### 2.3.9. Altura manométrica

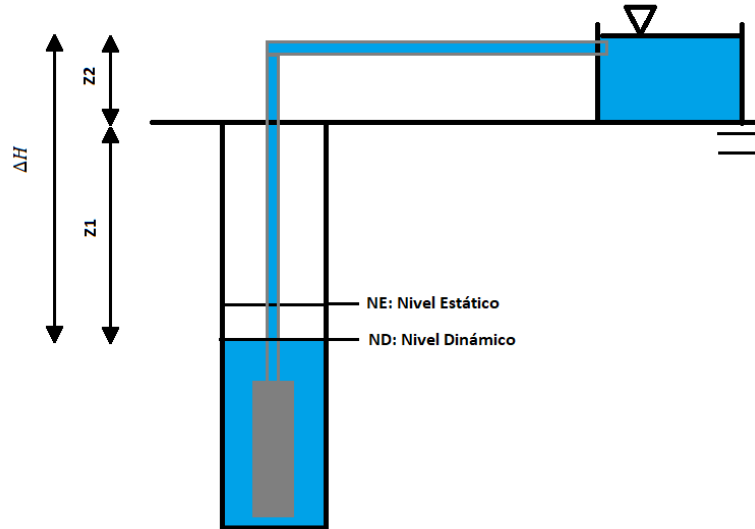
La altura manométrica en un sondeo de captación de aguas subterráneas es la diferencia de presión entre la superficie del agua en el acuífero y la superficie del agua en el interior de un pozo de captación. Esta se mide en metros. La altura manométrica necesaria para extraer agua del sondeo e introducirla en la balsa se estima utilizando la Expresión (14):

$$H = \Delta H + H_r + \frac{P}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = 80 + 4,29 m = 84,29 m \quad (14)$$

A su vez la Expresión (15) se utiliza para estimar  $\Delta H$ :

$$\Delta H = z_1 + z_2 \quad (15)$$

Para resolver las Expresiones (14) y (15) se utiliza el esquema de la Figura 58.



**Figura 58. Croquis del sondeo y la balsa para el cálculo de la altura manométrica**

Siendo:

- $z_1 = 69,5 \text{ m}$
- $z_2 = 2,51 \text{ m}$  (altura del depósito de riego prefabricado)
- $v_2 = 4 \text{ m/s}$  (salida de agua al depósito)
- $H_r$  (pérdidas de carga totales) =  $5,61 \text{ m}$
- $\frac{P}{\gamma} = 10 \text{ m}$

Para obtener la altura manométrica se requiere la realización de un aforo. En un sondeo de captación de aguas subterráneas, el aforo se realiza para determinar la cantidad de agua que se puede extraer de un acuífero subterráneo sin causar una sobre-explotación o un agotamiento del recurso. Se obtiene con ello el caudal de extracción sostenible real del acuífero y la altura dinamométrica del sondeo.

La altura dinamométrica se refiere a la distancia de altura entre el nivel del agua en el pozo de observación y el nivel de la superficie del agua en el acuífero. Esta se mide mediante un piezómetro. Si la diferencia entre las dos alturas es negativa indica que se extrae agua del acuífero a un ritmo más rápido del que se está recargando, lo que causaría la sobreexplotación. De este cálculo se obtiene  $z_2$

En el caso de estudio el nivel dinamométrico está a  $z_2 = 69,5$  metros, considerando que el nivel de calizas empieza a 63 metros y que el sondeo tiene una profundidad de 80 metros.

Resolviendo las Expresiones (14) y (15):

$$\Delta H = 69,5 + 2,51 = 72,01 \text{ m}$$

Por tanto:

$$H = 72,01 \text{ m} + 5,61 \text{ m} + 10 \text{ m} + \frac{(4 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 88,44 \text{ m}$$

La altura manométrica que requiere la bomba para extraer el agua es de 88,44 m.

## **2.4. Anejo 4. Cálculo de la capacidad requerida para el depósito de riego**

Partiendo de los cálculos realizados en el Anejo 3, se ha dimensionado los metros cúbicos requeridos para el depósito de riego. Para ello se han considerado 5 opciones:

### *2.4.1. Opción 1: Volumen capacidad máxima de extracción de agua del sondeo*

Se considera el funcionamiento de la bomba del sondeo durante 24 horas ininterrumpidas. Es la opción más conservadora, pudiendo ser cierta en el hipotético caso de necesitar la máxima cantidad de agua posible, ya sea debido al factor climático o a fallos en el cálculo del caudal de agua extraída del acuífero. Para obtener el volumen requerido se aplica la Expresión (8):

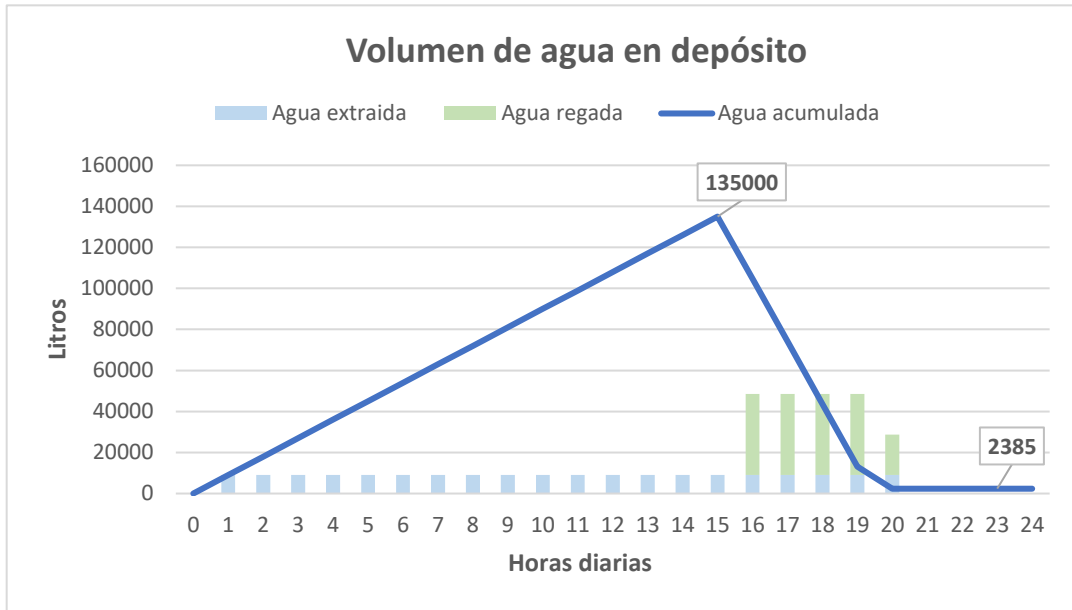
$$V = 9 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h} = 216 \text{ m}^3$$

Se requeriría un depósito de riego de  $216 \text{ m}^3$ , o lo que es lo mismo 216.000 litros.

### *2.4.2. Opción 2: Riego dividido en un único sector*

Se considera un funcionamiento de la bomba de 20 horas diarias comenzando a las 00:00, tal y como se estipuló en el Anejo 3. Y que el riego del olivar se programa un total de 4,5 horas diarias, empezando a funcionar a las 16:00.

En la Figura 59 se muestra el volumen de agua disponible en el depósito teniendo en cuenta que a las 00:00 se contaría con un volumen de 0 litros (depósito vacío):



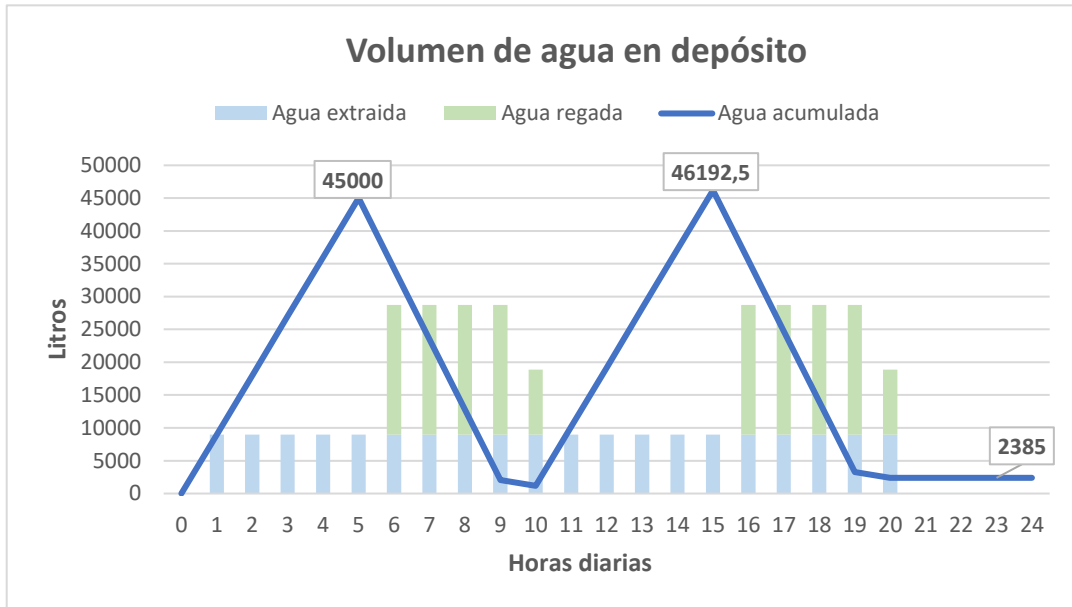
**Figura 59. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en un sector**

Se requeriría un depósito de 135.000 litros, o lo que es lo mismo  $135 m^3$ .

#### 2.4.3. Opción 3: Riego dividido en dos sectores

La bomba del sondeo trabaja bajo las condiciones descritas en la Opción 2. Pero en este caso el riego de la parcela se divide en dos sectores iguales, con lo cual también se divide entre dos el caudal total requerido, pasando de  $10,96 l/s$  a  $5,48 l/s$ . Debido a esto, se requerirá menos almacenamiento al depósito que el caso anterior.

En la Figura 60 se muestra el volumen de agua disponible en el depósito teniendo en cuenta que el riego se programa de 6:00 a 10:30 para el primer sector, y de 16:00 a 20:30 para el segundo sector.



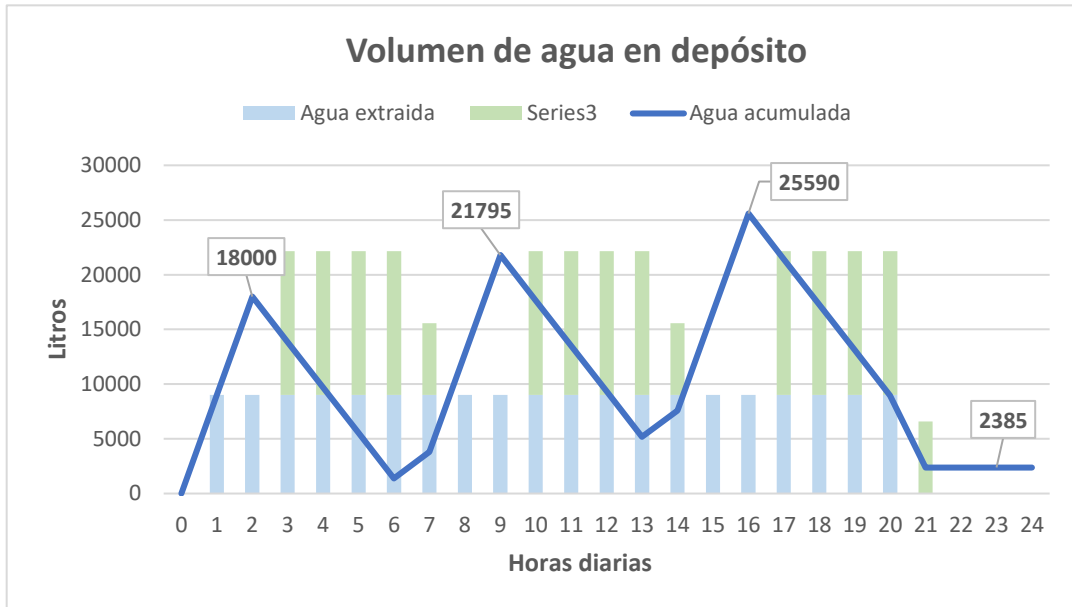
**Figura 60. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en dos sectores**

En este caso se requeriría un volumen de 46.193 litros, o lo que es lo mismo  $46,19 m^3$ .

#### 2.4.4. Opción 4: Riego dividido en 3 sectores

La bomba del sondeo trabaja bajo las condiciones descritas en la Opción 2. Pero en este caso el riego de la parcela se divide en tres sectores iguales, con lo cual también se divide entre tres el caudal total requerido, pasando de  $10,96 l/s$  a  $3,65 l/s$ . Debido a esto, se requerirá aún menos almacenamiento al depósito que el caso anterior.

En la Figura 61 se muestra el volumen de agua disponible en el depósito teniendo en cuenta que el riego se programa de 3:00 a 7:30 para el primer sector, de 10:00 a 14:30 para el segundo sector, y de 17:00 a 21:30 para el tercer sector.



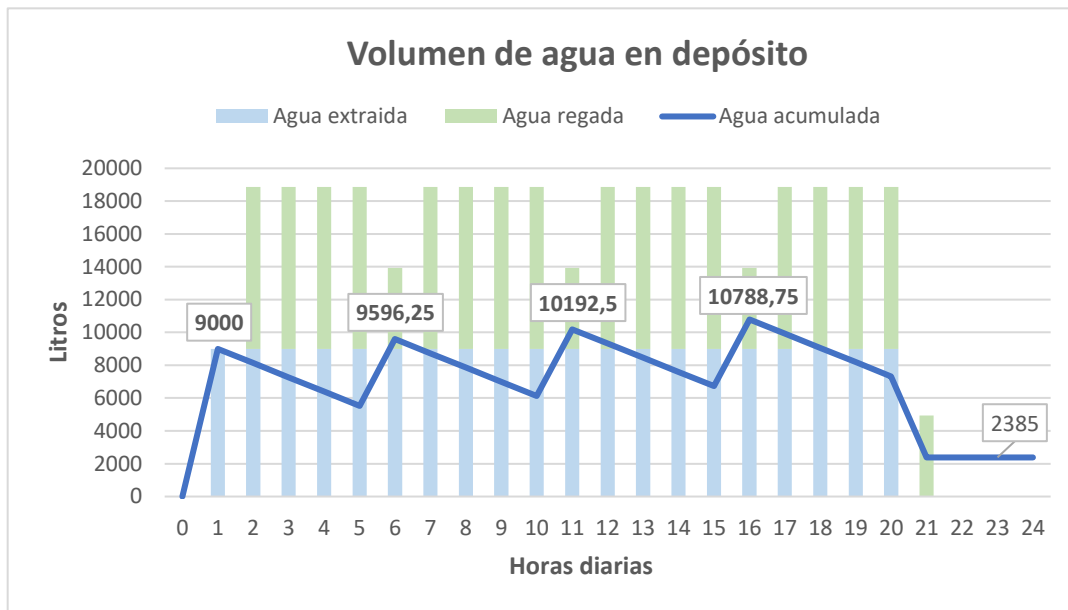
**Figura 61. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en tres sectores**

En este caso se requeriría un volumen de 25.590 litros, o lo que es lo mismo  $25,59 m^3$ .

#### 2.4.5. Opción 5: Riego dividido en 4 sectores.

La bomba del sondeo trabaja bajo las condiciones descritas en la Opción 2. Pero en este caso el riego de la parcela se divide en cuatro sectores iguales, con lo cual también se divide entre 4 el caudal total requerido, pasando de  $10,96 l/s$  a  $2,74 l/s$ . Debido a esto, se requerirá aún menos almacenamiento al depósito que el caso anterior.

En la Figura 62 se muestra el volumen de agua disponible en el depósito teniendo en cuenta que el riego se programa de 1:00 a 5:30 para el primer sector, de 6:00 a 10:30 para el segundo sector, de 11:00 a 15:30 para el tercer sector y de 16:00 a 20:30 para el cuarto sector.



**Figura 62. Volumen de agua acumulada en el depósito con riego distribuido en cuatro sectores**

Esta constituye sería la opción idónea de cara a instalar un depósito más pequeño. Se requerirá un almacenamiento de 10.789 litros, o lo que es lo mismo  $10,79 m^3$ .

#### 2.4.6. Volumen escogido

Tras haber barajado las cinco opciones previas y considerando que el presente trabajo tiene naturaleza de estudio técnico, se ha considerado la primera opción.

Se ha escogido la opción más conservadora en base a no conocer de manera rigurosa factores como cual será el caudal de extracción real del sondeo, o que opción de riego diseñará el técnico competente del mismo.

También se ha aplicado un volumen auxiliar de almacenamiento de en torno al 20%. Por tanto, el volumen del depósito será aproximadamente de:

$$V = 216 m^3 \cdot 1,2 = 259,2 m^3$$

### 2.5. Anejo 7. Cálculo y selección del equipo de bombeo

Debido a las condiciones de trabajo exhaustivo (20 horas diarias durante varios meses) al que se someterá la bomba, se requerirá la compra de dos equipos de bombeo, uno para extraer agua y otro de repuesto. Se ha escogido una bomba de la marca Grundfos [33] para el sondeo de captación de aguas subterráneas debido a varias razones:

1. Calidad y confiabilidad: las bombas Grundfos son conocidas por su alta calidad y confiabilidad, lo que significa que son menos propensas a fallos y tienen una vida útil más larga.
2. Eficiencia energética: las bombas Grundfos están diseñadas para ser eficientes en términos de energía, lo que significa que consumen menos electricidad y son más amigables con el medio ambiente.
3. Adaptabilidad: las bombas Grundfos ofrecen una amplia gama de opciones para diferentes aplicaciones, incluyendo sondeos de captación de aguas subterráneas.
4. Tecnología de vanguardia: Grundfos es una compañía líder en el desarrollo de tecnologías avanzadas para bombas, esto les permite ofrecer soluciones innovadoras y sostenibles para sondeos de captación de aguas subterráneas.
5. Soporte técnico y servicio al cliente: La compañía cuenta con un gran equipo técnico y servicio al cliente, esto les permite brindar un excelente soporte técnico y soluciones personalizadas para cada cliente.

En el presente estudio técnico, es esencial la durabilidad y calidad de la bomba dado que esta trabajará 20 horas diarias en periodo estival.

### 2.5.1. Predimensionamiento

Los requisitos de predimensionamiento se reflejan en la Tabla 39.

**Tabla 39. Datos de predimensionamiento**

<b>Aplicación</b>	Suministro de agua subterránea
<b>Tipo de instalación</b>	Pozo de sondeo
<b>Caudal</b>	2,5 l/s
<b>Altura</b>	88,44 m
<b>Velocidad variable</b>	Sí
<b>Grado de Protección</b>	IP54 (durabilidad)
<b>Permitir velocidad fija</b>	Sí
<b>Caudal máx permitido</b>	+40%
<b>Número de días de funcionamiento por año</b>	208 días
<b>Horas de funcionamiento por día</b>	20 h
<b>Solución más barata</b>	Sí

### 2.5.2. Equipo de bombeo escogido

Se ha escogido la bomba sumergible modelo SP 17 – 9 mostrada en la Figura 63. Las bombas SP de Grundfos son conocidas por su alta eficiencia y cumplen con los estándares requeridos para el índice de eficiencia mínima.



**Figura 63. Bomba GRUNDFOS SP 17 – 9 [33]**

Esta bomba sumergible de agotamiento es adecuada para el bombeo de agua limpia y se puede instalar tanto en posición vertical como horizontal. Todos los componentes están fabricados en acero inoxidable (EN 1.4301; AISI 304) para garantizar la resistencia a la corrosión. Esta bomba está homologada para el bombeo de agua caliente, y cuenta con un motor MS4000 de 5.5 kW con protección contra arena, cojinetes de deslizamiento lubricados con agua y una membrana de compensación de volumen.

El motor es sumergible y encamisado, proporciona estabilidad mecánica y alta eficiencia. Está diseñado para soportar temperaturas de hasta 40 °C y cuenta con un sensor Tempcon de Grundfos que permite monitorear la temperatura y un panel de control MP 204. El motor está diseñado para el arranque directo en línea (DOL).

### 2.5.3. Especificaciones generales

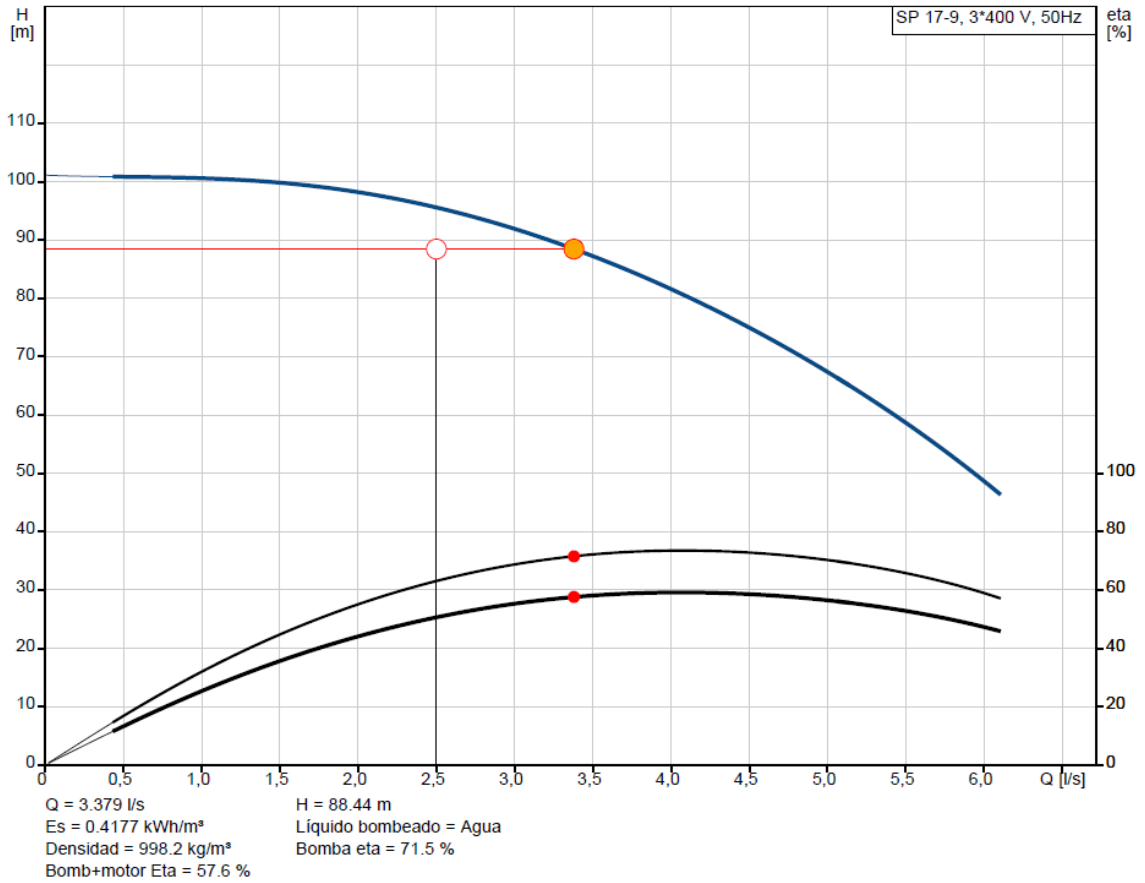
Las especificaciones generales del equipo de bombeo aparecen en la Tabla 40.

**Tabla 40. Especificaciones generales del equipo de bombeo**

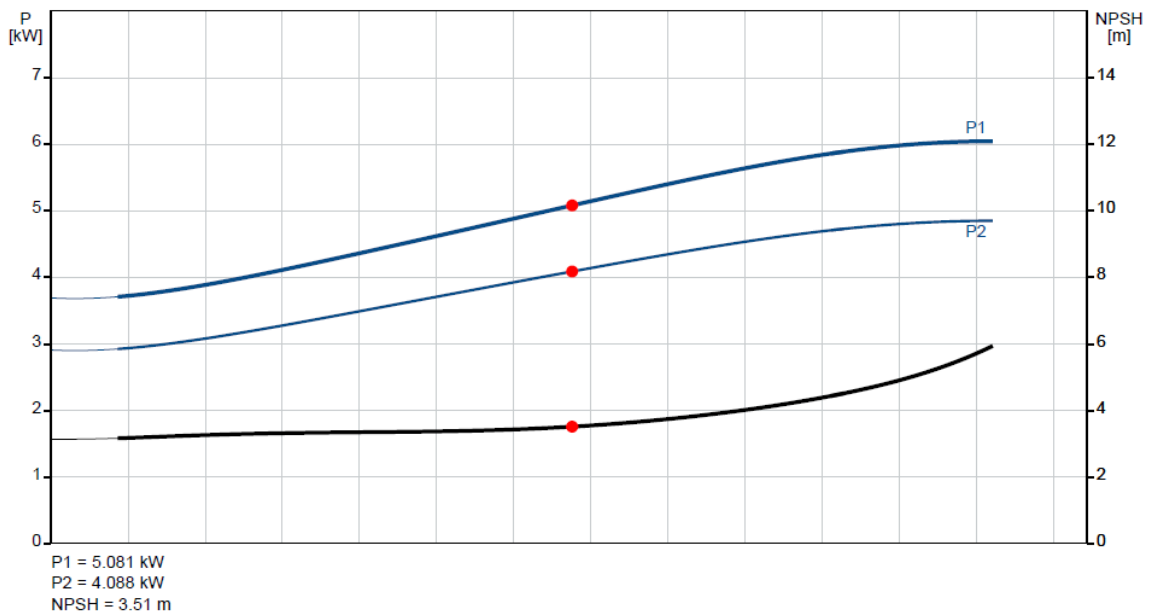
<b>Modelo de bomba</b>	SP 17 – 9
<b>Diámetro máximo</b>	4 inch (101,6 mm)
<b>Caudal</b>	3,379 l/s (+35%)
<b>H total</b>	88,44 m
<b>Pot. P1</b>	5,081 kW
<b>Pot. P2 requerida en punto de trabajo</b>	4,088 kW
<b>Corriente</b>	13 A
<b>Corriente</b>	10,3 A
<b>Cos phi (actual)</b>	0,71
<b>Bomba Eta</b>	71,5%
<b>Tipo Motor</b>	MS4000
<b>Potencia nominal motor</b>	5,5 kW
<b>Motor Eta</b>	71,5%
<b>Total Eta</b>	57,6%
<b>Caudal total</b>	37440 m <sup>3</sup> /año
<b>Precio</b>	4.582,00 Euros
<b>Consumo energía</b>	15640 kWh/año
<b>Coste ciclo de vida</b>	64018 Euros/10 años

#### 2.5.3.1. Curvas de rendimiento

En la Figura 64 a y b se muestran los rendimientos de la bomba ante el caudal y la altura introducidos.



(a)



(b)

Figura 64. Curvas de rendimiento del equipo de bombeo [33]

### 2.5.3.2. Curvas de motor

En la Figura 65 se muestran las curvas del motor.

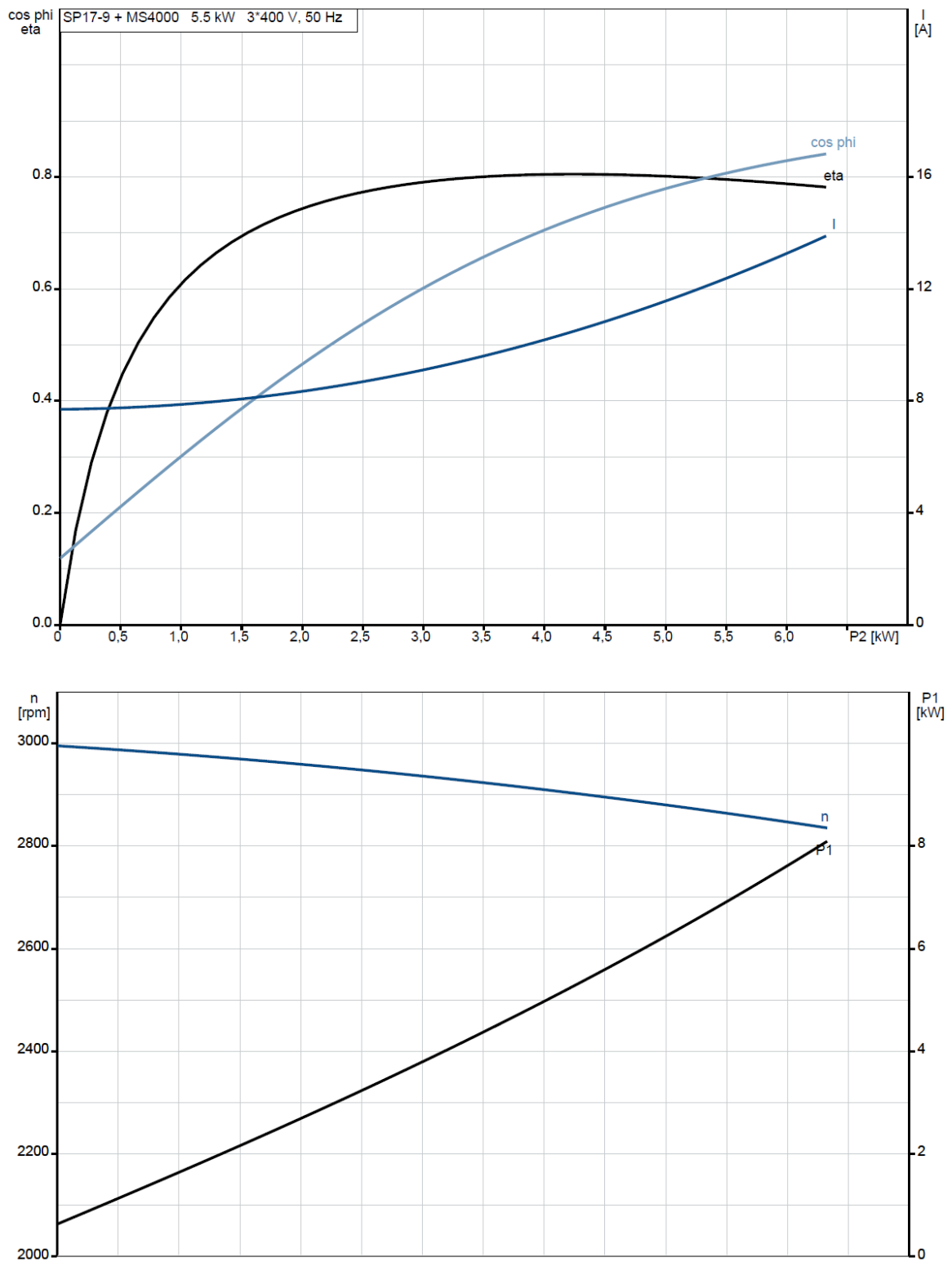


Figura 65. Curvas del motor [33]

#### 2.5.4. Especificaciones Bomba

La bomba de Grundfos está diseñada para resistir la corrosión y el desgaste con materiales de alta calidad en todas sus partes que entran en contacto con el líquido bombeado, como el acero inoxidable y el caucho NBR, reduciendo así el mantenimiento.

Además, ofrece opciones de materiales adicionales como el caucho FKM para bombear aguas con alto contenido de hidrocarburos. El diseño también incluye cojinetes octogonales con canales lijados para reducir el desgaste y facilita la sustitución de piezas internas sujetas a deterioro. Además, el interconector de aspiración cuenta con un filtro para evitar la entrada de partículas grandes y está diseñado de acuerdo con las normas NEMA para el montaje y dimensiones de motores.

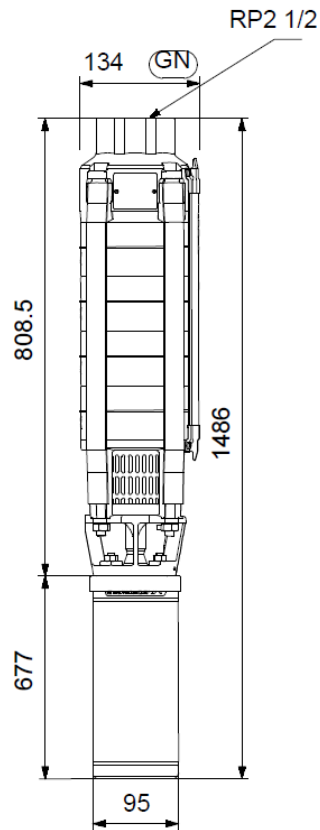
Los datos más específicos del dimensionamiento se representan en la Tabla 41.

**Tabla 41. Especificaciones generales de la bomba**

<b>Diámetro mínimo de la perforación</b>	140 <i>mm</i>
<b>Diámetro de motor</b>	4 <i>inch</i>
<b>Presión de trabajo máxima</b>	60 bar
<b>Presión de salida máxima permitida</b>	10,3 bar
<b>Tamaño de la conexión</b>	2 ½ <i>inch</i>

##### 2.5.4.1. Dimensionamiento bomba

En la Figura 66 se muestra el plano de la bomba SP 17 – 9.



**Figura 66. Plano de la bomba [33]**

### 2.5.5. Especificaciones Motor

La bomba de Grundfos cuenta con un estator con aislamiento hermético de acero inoxidable y bobinados revestidos con compuesto polimérico, lo que proporciona estabilidad mecánica, refrigeración óptima y reducción del riesgo de cortocircuito en los bobinados. El cierre mecánico está hecho de carburo de tungsteno/cerámica y es sustituible, brindando propiedades de sellado, resistencia y vida útil óptimas.

Además, cuenta con un sello laberíntico formado por la carcasa del cierre mecánico y la protección contra arena que evita la entrada de partículas de arena. El motor está equipado con un sensor de temperatura Tempcon de Grundfos que detecta la temperatura y la envía a través de un cable sumergible al panel de control MP 204 de Grundfos, que también monitoriza la calidad de la red de suministro eléctrico para proteger el motor sumergible contra las perturbaciones.

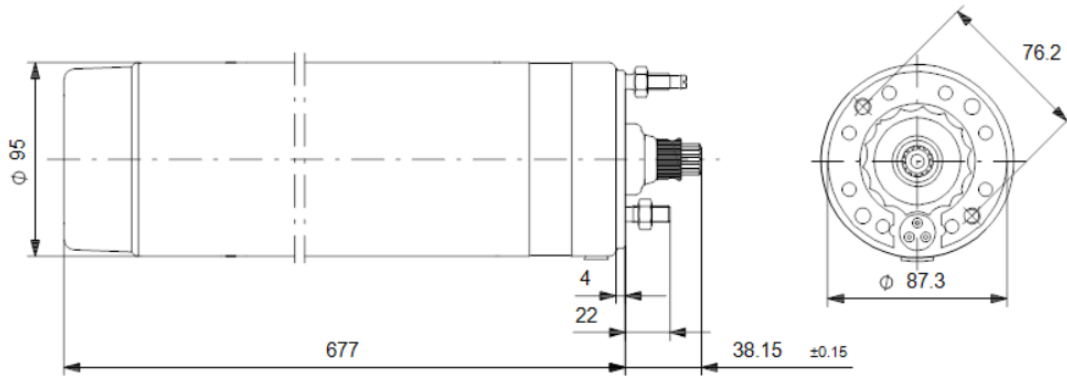
Los datos más específicos de las especificaciones de la bomba se representan en la Tabla 42.

Tabla 42. Especificaciones generales del motor

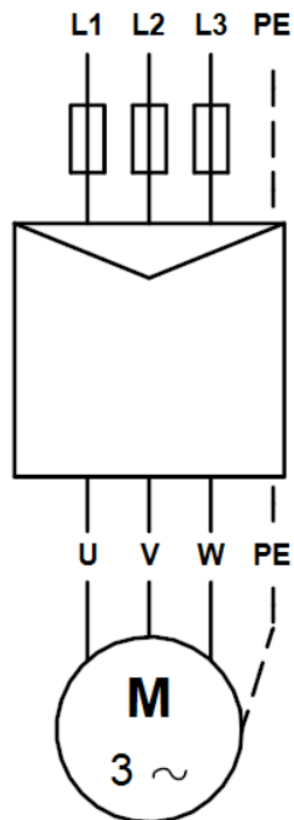
<b>Producto</b>	MS 4000
<b>Máxima presión ambiental</b>	60 bar
<b>Diámetro de motor</b>	4 <i>inch</i>
<b>Máxima presión ambiental</b>	60 bar
<b>Tipo de motor</b>	MS4000
<b>Potencia nominal - P2</b>	5.5 <i>kW</i>
<b>Frecuencia de red</b>	50 <i>Hz</i>
<b>Tensión nominal</b>	3 x 380-400-415 <i>V</i>
<b>Toler. tensión</b>	+6/-10 %
<b>Intensidad nominal</b>	13.0-13.0-13.4 <i>A</i>
<b>Intensidad de arranque</b>	480-530-550 %
<b>Cos phi - factor de potencia</b>	0.85-0.81-0.76
<b>Velocidad nominal</b>	2850-2860-2870 <i>rpm</i>
<b>Par nominal a plena carga</b>	18.3 <i>Nm</i>
<b>Par de rotor enclavado</b>	150-180-190 %
<b>Par máximo de motor</b>	220 %
<b>Momento de inercia</b>	0.0029 <i>kg m<sup>2</sup></i>
<b>Carga axial máx.</b>	450 <i>kg</i>
<b>Tipo de arranque</b>	directo
<b>Grado de protección (IEC 34-5)</b>	IP68
<b>Clase de aislamiento (IEC 85)</b>	F
<b>Protección de motor integrada</b>	NINGUNA
<b>Protec. térmica</b>	exterior
<b>Transmisor de temp. incorporado</b>	sí
<b>Resistencia de los bobinados</b>	3.28 <i>ohm</i>
<b>Bobinados</b>	Enamelled
<b>Peso neto</b>	27 <i>kg</i>

### 2.5.5.1. Dimensionamiento motor

En la Figura 67 a se muestra un plano de la bomba, y en la b un croquis del diagrama del cableado.



(a)

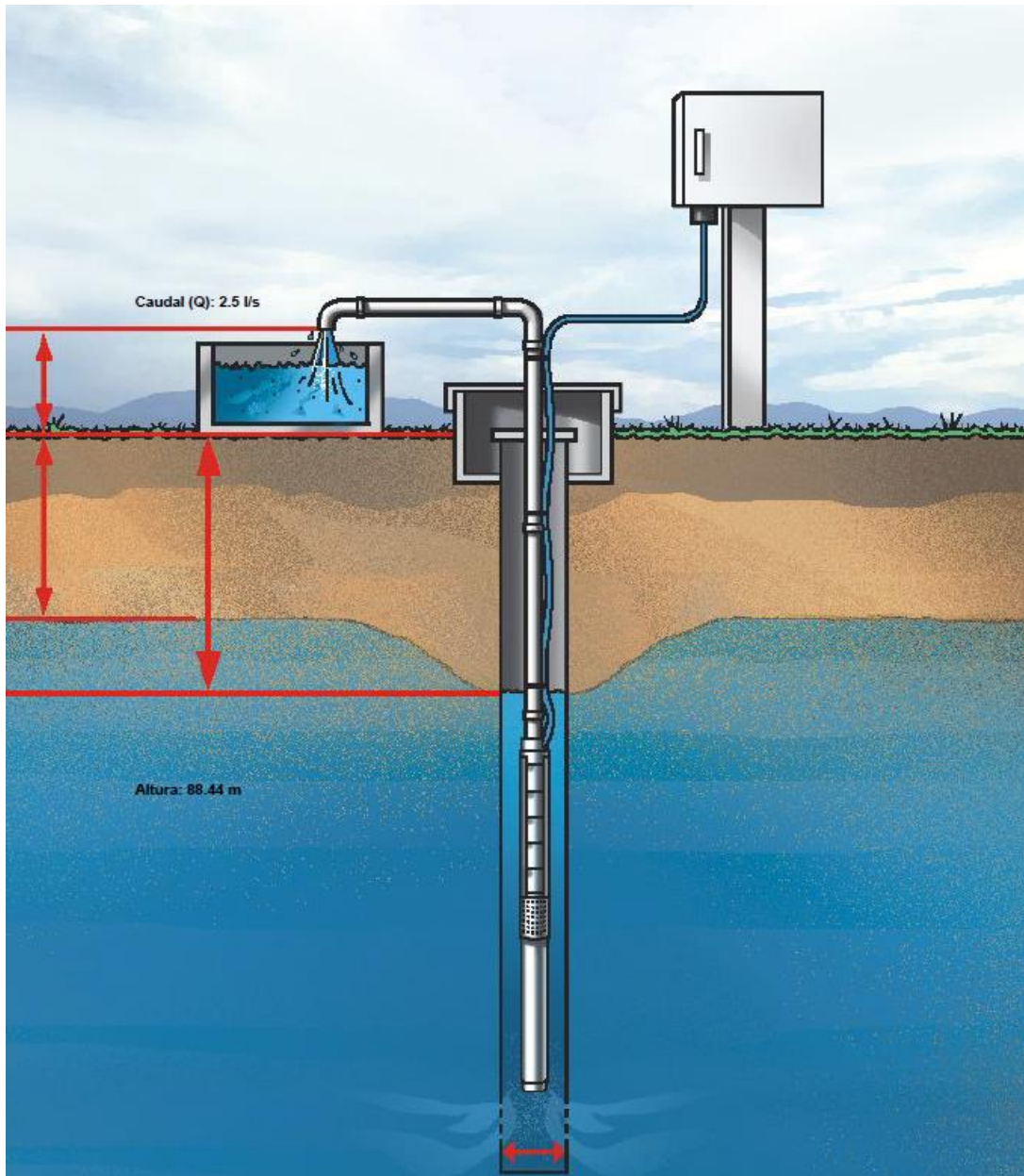


(b)

Figura 67. (a) Plano del motor; (b) Croquis del diagrama de cableado [33]

### 2.5.6. Instalación

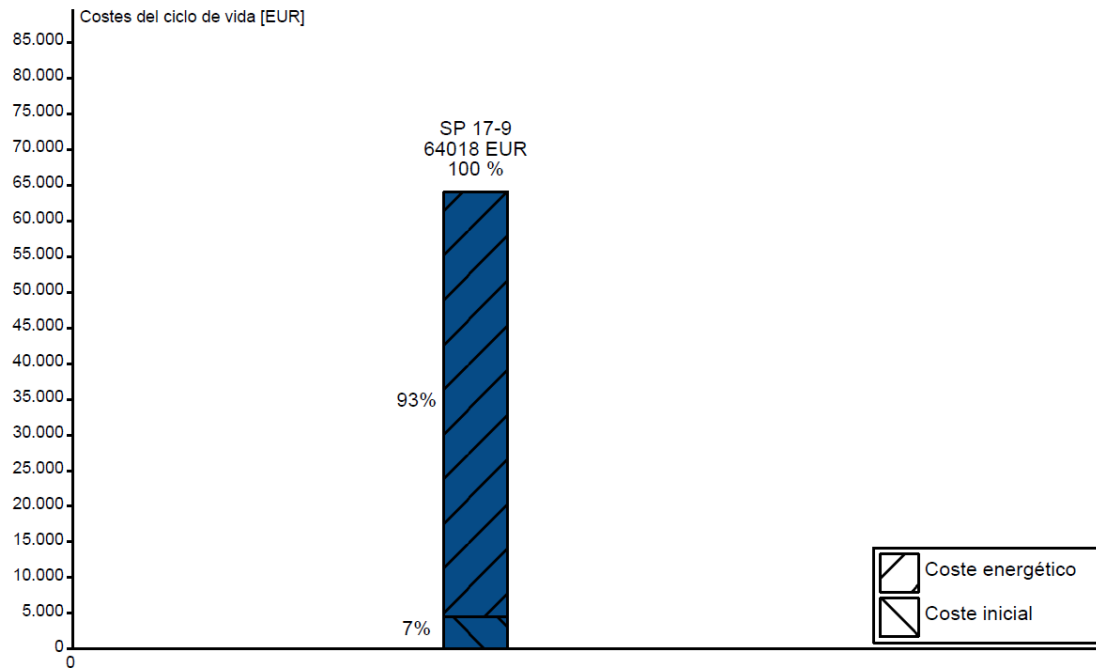
En la Figura 68 se muestra un croquis general de la instalación:



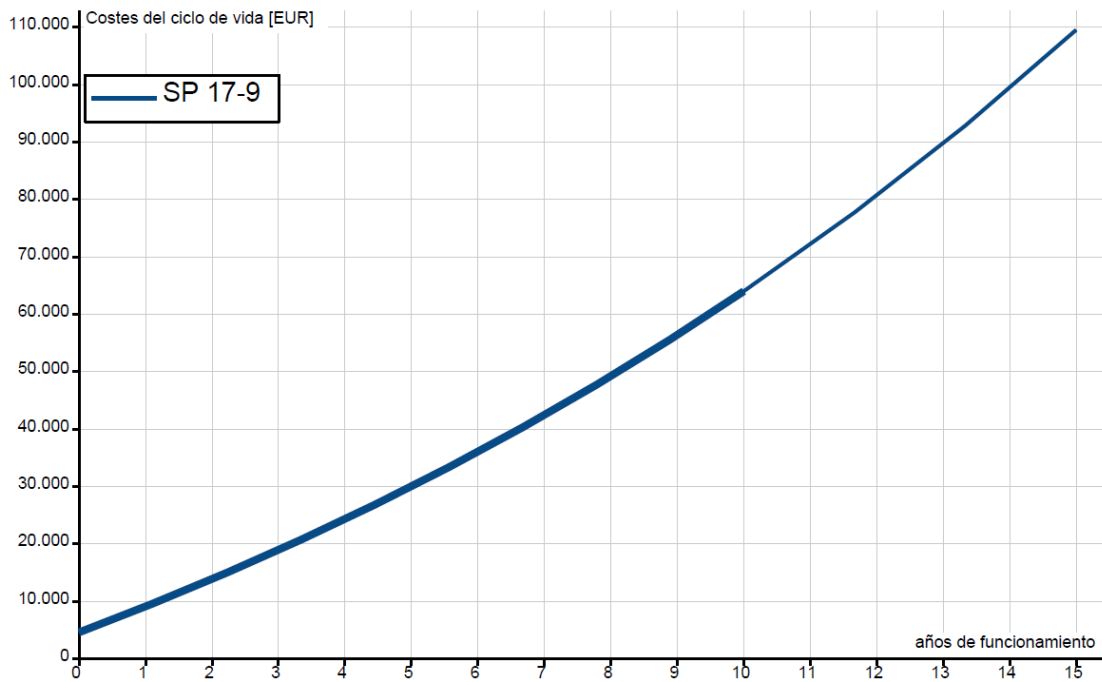
**Figura 68. Croquis general de la instalación [33]**

### *2.5.7. Coste ciclo de vida y amortización*

En la Figura 69 a se muestra el coste de ciclo de vida tras 10 años de funcionamiento, y en la b el periodo de amortiguación.



(a)



(b)

Figura 69. (a) Coste ciclo de vida 10 años de funcionamiento; (b) Periodo de amortización [33]

## 2.6. Anejo 6. Cálculo y selección del grupo de re-bombeo

La bomba sumergible instalada en la captación tiene suficiente potencia para elevar el agua al depósito, por lo que no se requiere un grupo de re-bombeo adicional debido a las condiciones técnicas de la instalación.

## 2.7. Anejo 8. Cálculo de la instalación eléctrica

El generador escogido se situará dentro de una caseta prefabricada de hormigón.

### 2.7.1. Selección del grupo electrógeno

El equipo instalado debe de ser capaz de abastecer todas las necesidades energéticas que se requieran en las operaciones de bombeo del agua de la captación. Para ello, deberá satisfacer las demandas de la instalación representadas en la Tabla 43:

**Tabla 43. Potencia demandada en la instalación**

<b>EQUIPOS</b>	<b>POTENCIA (kW)</b>
Bomba sumergible	5,5
Iluminación	3,0
Bomba para el riego	7 (aprox. sobredimensionado)
<b>TOTAL</b>	<b>15,5</b>

Ya que se debe de abastecer 15,5 kW en el caso de que los tres equipos trabajen simultáneamente, se opta por el equipo QES 20 [34] de la marca Atlas Copco (Figura 70).



**Figura 70. Generador Atlas Copco [34]**

En la Tabla 44 se muestran las características técnicas del mismo:

**Tabla 44. Especificaciones técnicas del generador Atlas Copco modelo QES 20**

Datos eléctricos		QES 9	QES 14	QES 20
Frecuencia nominal	Hz	50	560	560
Cumplimiento de las normas sobre emisiones de gases de escape		/	/	/
Tensión nominal <sup>(1)</sup>	V	400	400	400
Potencia continua (PRP)	kVA / kW	8,8 / 7	13,8 / 11	20 / 16
Potencia en espera nominal (ESP)	kVA / kW	10 / 8	15 / 12	21,3 / 17
Factor de potencia cos $\phi$		0,8	0,8	0,8
Intensidad nominal (PRP)	A	12,6	19,9	28,9
Clase de rendimiento conforme a ISO-8528/5		G1	G2	G1
Temperatura de funcionamiento (mín./máx.) <sup>(2)</sup>	°C	-0,2	-0,2	-0,2
Consumo de combustible				
Capacidad del depósito de combustible (Estándar / 24 h / 48 h)	l	54 / 125 / 250	54 / 125 / 250	54 / 125 / 250
Consumo de combustible al 100% Carga PRP	l / h	2,4	3,8	4,97
Autonomía de combustible a plena carga (estándar/24-48 h./depósito de combustible de 1000 l.)	h	22 / 52 / 103	14 / 32 / 65	10,8 / 25 / 50
Panel de control				
Modelo - estándar		DSE4620	DSE4620	DSE4620
Cargador de baterías (opcional)		DSE9150	DSE9150	DSE9255
Motor				
Modelo		D1105-E3BG2	D1703-M-E4BG2	V2403-M-E3BG2
Velocidad	r.p.m.	1500	1500	1500
Potencia para uso continuo	kWm	8,6	13,2	21,3
Aspiración		Natural	Natural	Natural
Control de velocidad		Mecánico	Mecánico + Electrónico	Mecánico + Electrónico
Número de cilindros		3	3	4
Refrigerante		Refrigerado por agua	Refrigerado por agua	Refrigerado por agua
Cilindrada	l	1,12	1,65	2,43
Alternador				
Modelo		ACA160D	ACA160E	ACA180E
Potencia de salida nominal (ESP 163 °C/27 °C / PRP 125 °C/ 40 °C)	kVA	13,5	16	22,5
Grado de protección / clase de aislamiento		IP23 / H	IP23 / H	IP23 / H
Tipo de excitación / modelo AVR		Shunt/SX460	Shunt/SX460	Shunt/SX460

Nivel de ruidos				
Nivel de ruidos (LwA)	dB(A)	91	95	93
Nivel de presión acústica (LpA) a 7 m.	dB(A)	65	69	67
Dimensiones y peso				
Longitud x anchura	mm	1540x700	1540x700	1540x700
Altura (estándar / 24 h / 48 h*)	mm	1130 / 1250 / 1480	1130 / 1250 / 1480	1130 / 1250 / 1480
Peso (estándar / 24 h / 48 h*)	kg	560 / 585 / 640	635 / 660 / 715	680 / 705 / 760
Dimensiones de la base (largo x ancho x alto)	mm	2135 x 720 x 245	2135 x 720 x 245	2135 x 720 x 245
Peso de la base	kg	55	55	55

Se escogerá el modelo que tiene mayor capacidad de depósito de combustible (modelo de 250 litros), ya que este trabajará continuamente (20 horas de funcionamiento de la bomba sumergible).

### 2.7.2. Caseta prefabricada

La caseta prefabricada de hormigón armado deberá tener unas dimensiones mínimas para albergar el generador. Estas serán de 5 x 3 x 3,5 m. A su vez tendrá una puerta de acceso de 2,10 m (Figura 71) y rejillas para ventilación de 1,25 x 1 m, que se dispondrán en las paredes opuestas. Para más detalles de la misma véase el Plano 7/8.



Figura 71. Caseta de hormigón prefabricada

## 2.8. Anejo 7. Cálculo y selección del cableado de los equipos

El diseño correcto del cableado es importante para garantizar la seguridad, la eficiencia y la confiabilidad de una instalación. Un diseño deficiente puede causar problemas como sobrecalentamiento, fallas de equipos, interferencia electromagnética y riesgos de incendio. Además, un diseño bien pensado puede ayudar a maximizar la capacidad de la instalación y facilitar el mantenimiento y la expansión futura. Por lo tanto, un buen diseño de cableado es esencial para garantizar el buen funcionamiento de una instalación y proteger la inversión en ella.

Para el diseño del tamaño de los cables eléctrico a utilizar se utilizará la calculadora de tamaños del cable eléctrico proporcionada por Atlas Copco [35]. En la misma se requiere la introducción de los parámetros de predimensionamiento de la Tabla 45:

**Tabla 45. Parámetros de dimensionamiento [35]**

<b>Equipo</b>	Generador
<b>Máxima temperatura permitida</b>	Goma a 90 °C
<b>Potencia del generador</b>	21,7 kVA
<b>Tensión nominal</b>	400 V
<b>Temperatura ambiente</b>	40°C (caso desfavorable)
<b>Uso al aire libre</b>	Sí
<b>Cable manipulable</b>	Sí
<b>Longitud total</b>	100 m
<b>Protección nominal</b>	1250 A

El programa arroja el mínimo a cubrir. Estos se representan en la Tabla 46.

**Tabla 46. Especificaciones requeridas [35]**

<b>Corriente de línea completa total</b>	31 A
<b>Factor de reducción</b>	0,91
<b>Corriente de cortocircuito</b>	1250 A

El cable de 16 mm<sup>2</sup> cumple con las especificaciones requeridas. En la Tabla 47 se muestran las especificaciones de este cable:

**Tabla 47. Especificaciones cable de 16 mm<sup>2</sup> [35]**

<b>Tamaño</b>	16 mm <sup>2</sup>
<b>Cantidad</b>	1
<b>Máxima intensidad por cable</b>	60 A
<b>Corriente de cortocircuito permitida</b>	1250 A
<b>Ajuste máximo de protección magnética</b>	1 I <sub>cc</sub> /I <sub>n</sub>

Por tanto, se escogerá el cable de 16 mm<sup>2</sup>

## 2.9. Anejo 9. Bibliografía, normativa aplicada y catálogos

[1] Real Decreto 863/1985, 2 de abril “*Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera*”; de acuerdo con las instrucciones técnicas complementarias *ITC: 06.0.07 “Prospección y explotación de aguas subterráneas” e ITC: 06.0.01 “Prescripciones generales”*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1985-20808>

[2] IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España). Disponible en: <https://www.idee.es/>

[3] Visor Cartográfico de Sede Electrónica del Catastro. Disponible en: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx>

[4] SIGPAC (Sistema de identificación de parcelas agrícolas). Disponible en: <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor/html/consultas.html>

[5] Geoportal de la CHG (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir). Disponible en: <https://idechg.chguadalquivir.es/nodo/Visualiza/map.html>

[5] Geoportal de la CHG (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir). Disponible en: <https://idechg.chguadalquivir.es/nodo/Visualiza/map.html>

[6] Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Mapas topográficos de España, escala 1/50000. Magna 50 – Hoja 947 (Jaén). Disponible en:

<https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?Id=947&language=es>

[7] Norma de Construcción Sismorresistente. Parte General y Edificación (NCSE – 02), aprobada en el Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre.

[8] LÓPEZ GETA, J.A. et al, *Atlas hidrogeológico de la Provincia de Jaén*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Disponible en:

[https://www.igme.es/ACTIVIDADESIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros1\\_HR/libro76/lib76.htm](https://www.igme.es/ACTIVIDADESIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros1_HR/libro76/lib76.htm)

[9] Datos de clima. Disponible en:

<https://en.climate-data.org/>

[10] Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Mapa Hidrogeológico de España, escala 1/200000. Hoja 77 (Jaén). Disponible en:

<http://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Hidrogeologico200Hoja.aspx?intranet=false&id=77>

[11] Datos del acuífero de San Cristóbal (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir). Disponible en:

<https://idechg.chguadalquivir.es/DocumentosCHG/Hiperlink/RecHidrog/ES050MSBT00051800S00.pdf>

[12] Apoyo a la caracterización adicional de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015 (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir). Disponible en:

[https://info.igme.es/SidPDF/139000/863/139863\\_0000016.pdf](https://info.igme.es/SidPDF/139000/863/139863_0000016.pdf)

[13] MARTÍN MONTAÑÉS, Crisanto et al, 2011 *ATLAS HIDROGEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE JAÉN*. ed. Jaén: Soproarga

[14] Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 4: Determinación de la distribución granulométrica (UNE-EN ISO 17892-4:2019)

[15] Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 12: Determinación del límite líquido y del límite plástico. (UNE-EN ISO 17892-12:2019)

[16] Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal. (UNE 103500:1994)

[17] Preparación de muestras para ensayos de suelos (UNE 103100:1995)

- [18] SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F.Javier. Prospección geofísica. Sondeos eléctricos verticales. Disponible en: <https://constructionor.com/shear-wall/>
- [19] Método Geoeléctrico de resistencia. Disponible en:  
<https://www.cuevadelcivil.com/2011/08/metodo-geoelctrico-de-resistencia.html>
- [20] LÓPEZ JIMENO, Carlos et al. *Manual de Sondeos: Tecnología de perforación*. Madrid: 7th ed. lit: Carlos López Jimeno, 2000.  
Disponible en: <https://toaz.info/doc-view>
- [21] GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis. *Ingeniería geológica*. Ed.: Pearson Educación S.A., 2002. ISBN 9788420531045.
- [22] SERVIFAPA – Programación del Riego y la Fertilización del Olivar. Disponible en:  
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/recomendador-olivar/riego/15605>
- [23] ILURCO – Depósitos de agua prefabricados. Disponible en:  
<https://ilurco.com/>
- [24] Talleres Segovia “Drilling Experts” – Equipos de perforación para captación de agua. Disponible en:  
[https://www.talleresegovia.com/es/drilling\\_experts/equipos\\_de\\_perforacion/captacion\\_de\\_agua/segoqui\\_21](https://www.talleresegovia.com/es/drilling_experts/equipos_de_perforacion/captacion_de_agua/segoqui_21)
- [25] STENUICK INTERNATIONAL – Fabricante de Material de perforación. Disponible en:  
<https://www.stenuick.com/es/equipement/herramientas-dth/martillo-de-fondo-8>
- [26] Atlas Copco – Catálogo compresores de aire. Disponible en:  
<https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/products/air-compressor>
- [27] Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, aprobada en la Ley 7/2007 el 9 de agosto de 2007. Disponible en:  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15158>
- [28] Evaluación ambiental, aprobada en la Ley 21/2013 el 9 de diciembre de 2013. Disponible en:  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>

[29] Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado en el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1986-10638>

[30] Planes Hidrológicos de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir 2022 – 2027. Disponible en:

<https://www.chguadalquivir.es/tercer-ciclo-guadalquivir>

[31] Texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado en el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276>

[32] GWE PESA Engineering – Tuberías para entubado sondeo. Disponible en:

[https://www.gwe-tubomin.com/wp-content/uploads/2019/03/Acero\\_es.pdf](https://www.gwe-tubomin.com/wp-content/uploads/2019/03/Acero_es.pdf)

[33] Bombas GRUNDFOS España S.A – Elección de equipo de bombeo. Disponible en:

<https://product-selection.grundfos.com/es/applications/municipal-water-supply/ground-water-intake?tab=products>

[34] Atlas Copco – Generadores estacionarios. Disponible en:

[https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/construction-technique/portable-energy/documents/2\\_generators/spain/qes-eu/Brochure-QES-European-markets-Spanish.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/construction-technique/portable-energy/documents/2_generators/spain/qes-eu/Brochure-QES-European-markets-Spanish.pdf)

[35] Atlas Copco – Calculadora de tamaños del cable eléctrico. Disponible en:

<https://rental2.atlascopco.com/#/cable/cablecalc>

### 3. PLANOS

# Sondeo y Balsa de Riegos

**Leyenda**

- Balsa de Riegos
- Finca
- Sondeo



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b>
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO
S/E				Situación geográfica de la finca y las instalaciones
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



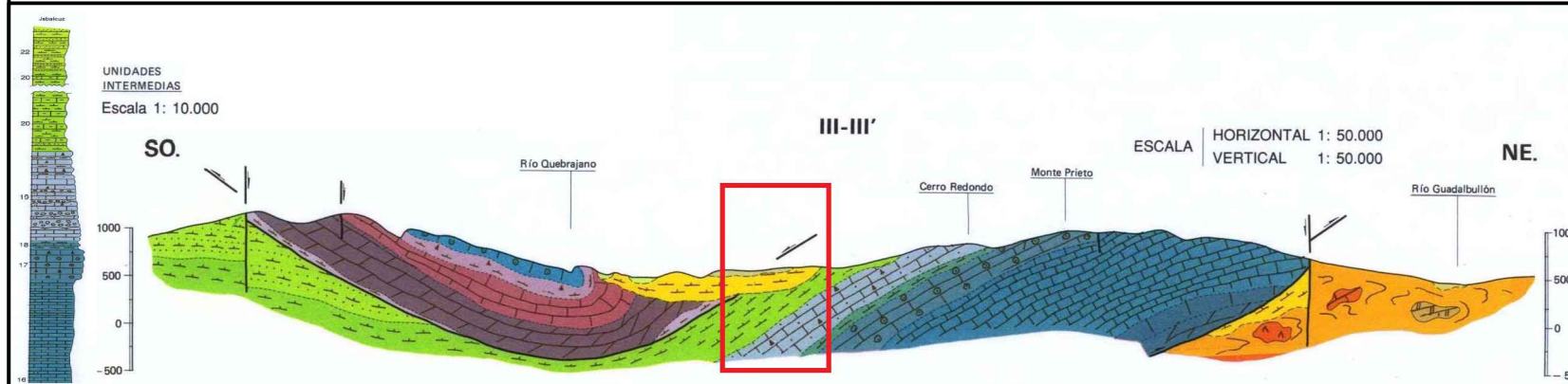
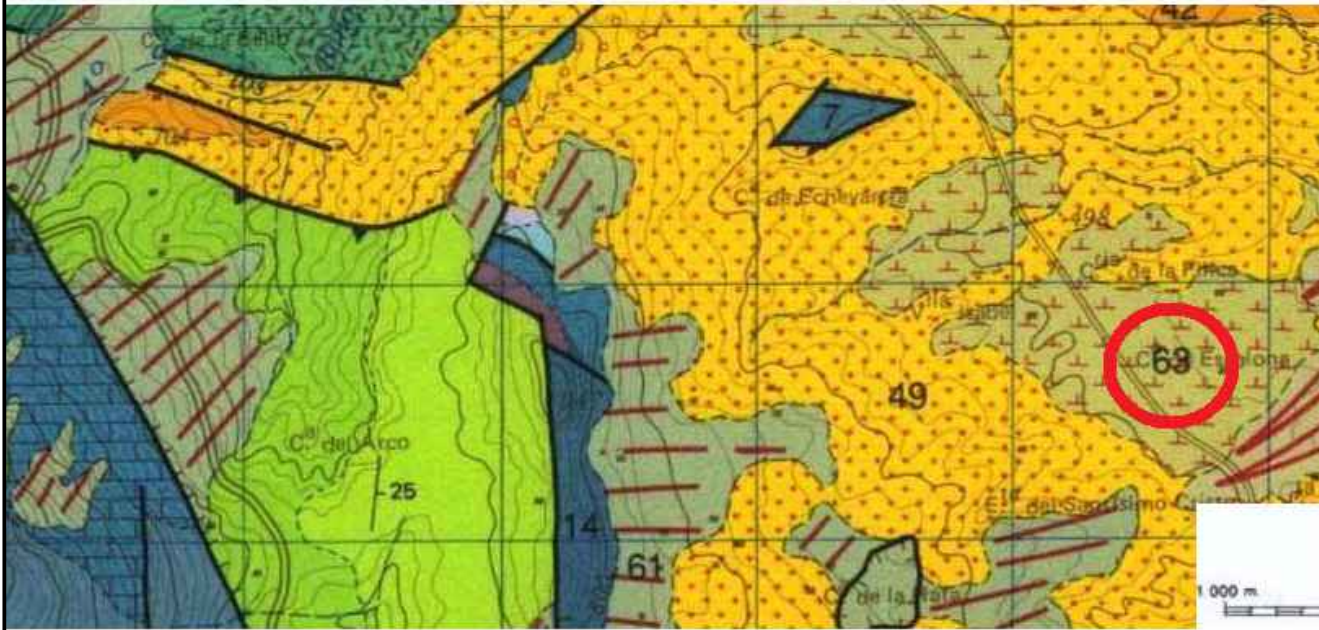
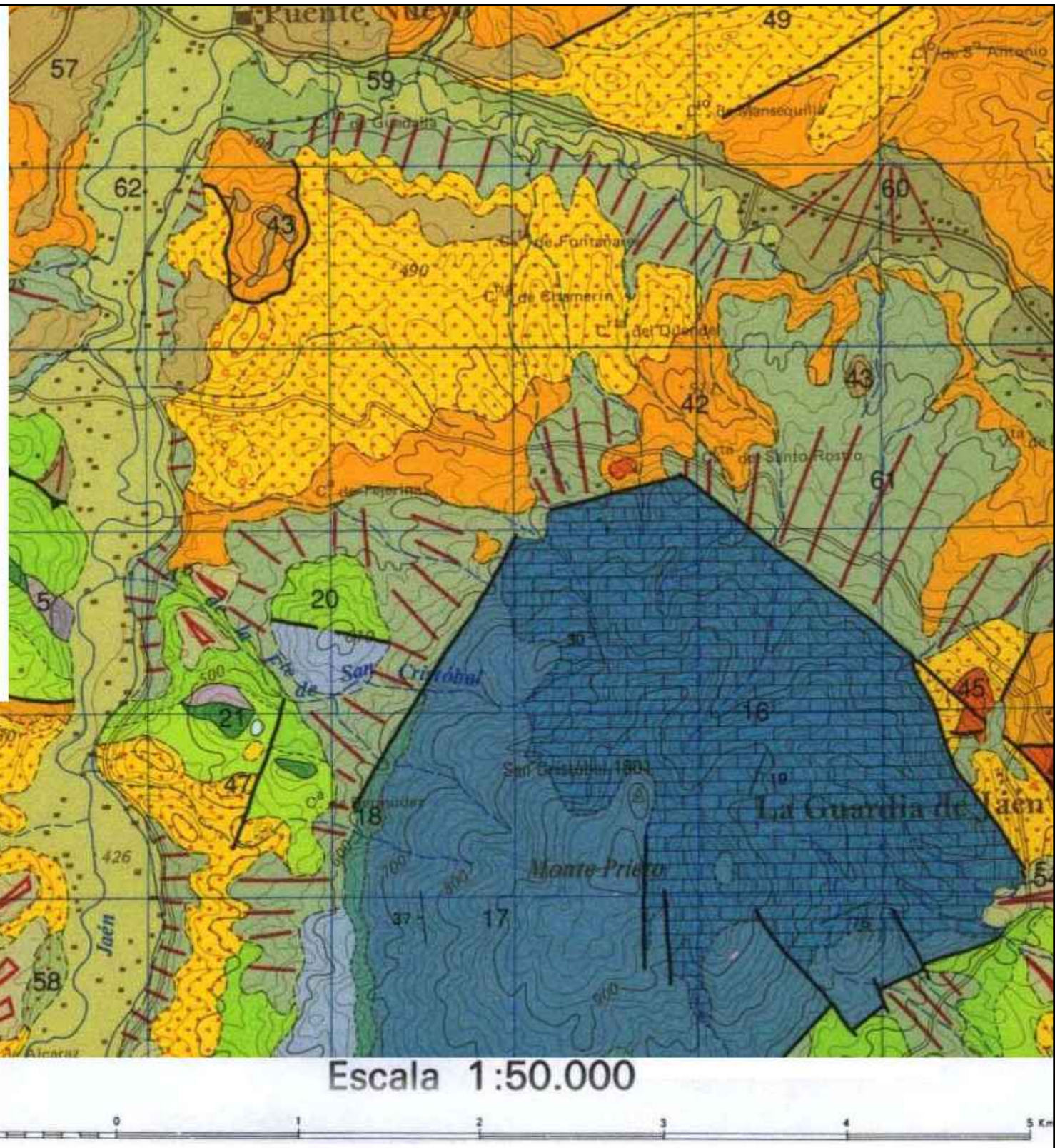
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	<b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b>
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO 2/8
S/E	Acceso a finca			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

# LEYENDA

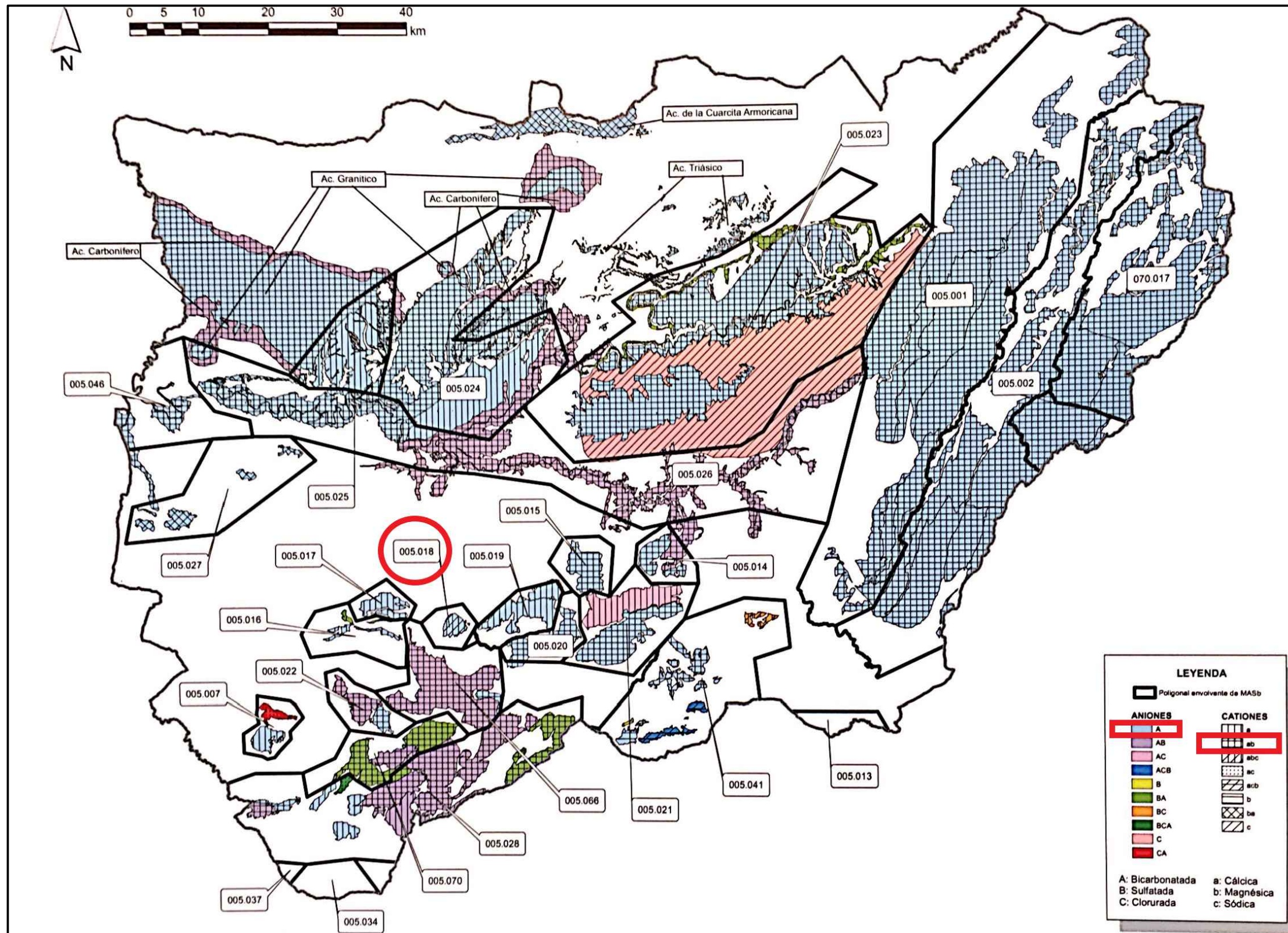
## NEOGENO Y CUATERNARIO

CUATERNARIO		64	63	62	61	60	
		59	58	57			56
TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO	53	52	51	50	
			TUROLI	49			48
	MESSINIEN.	51					
	TORTONIENSE	49					
	SERRAVALL.	S	45	46	43	42	
		I	44	41			
	MIOCENO	MEDIO	LANGHIENSE	S	43	44	42
				I	41	40	44
	INF.	BURDIGALIENSE	41				
			AQUITANIENSE	43	45	40	44

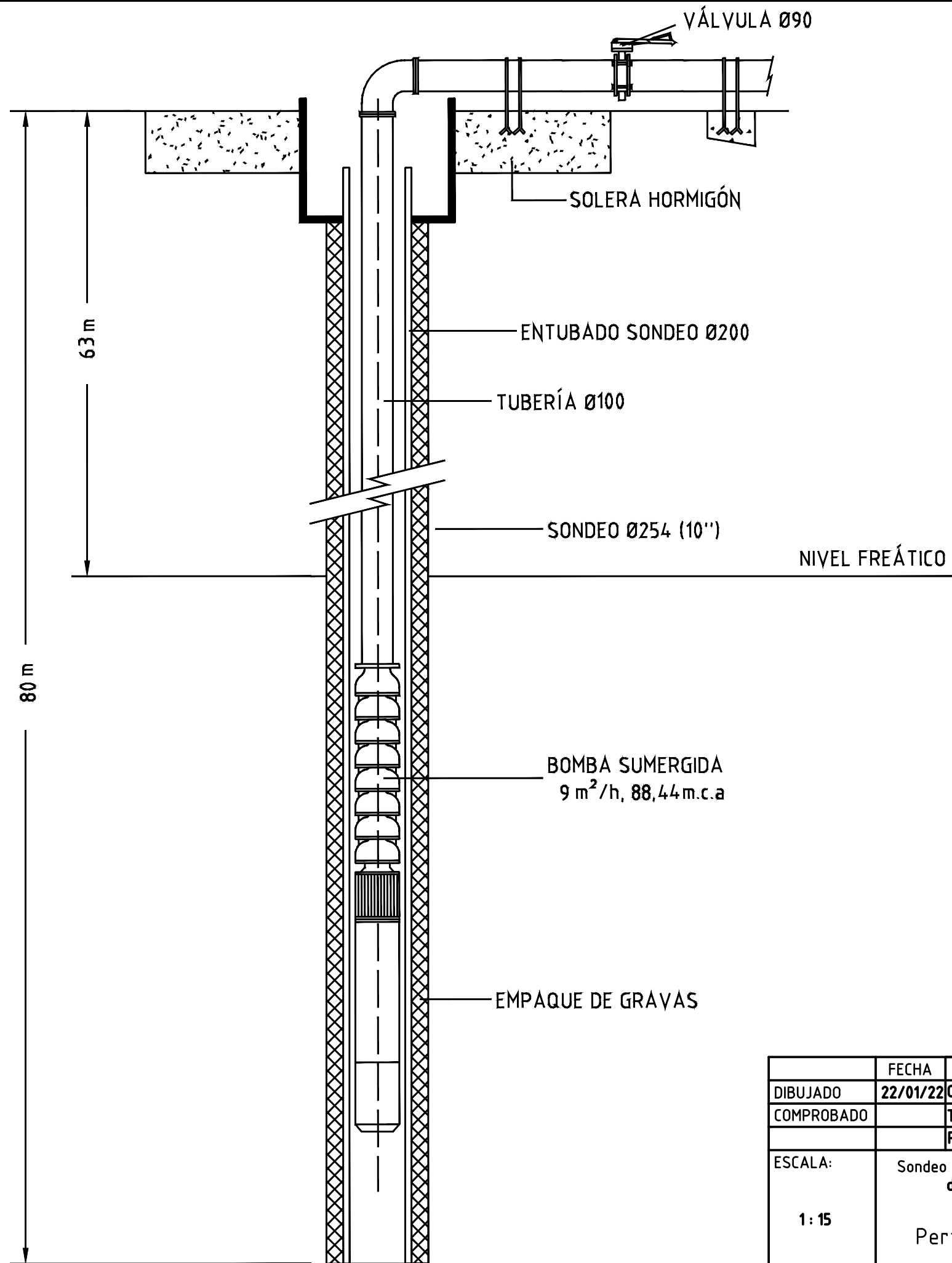
- 64 Relleno de fondo de valle - suelos vérticos.
- 63 Encostramientos superficiales.
- 62 Lecho de inundación aluvial y terraza baja.
- 61 Derrubios de ladera.
- 60 Cono de deyección.
- 59 Terraza I río Guadalbullón.
- 58 " I río Eliche.
- 57 Terraza II río Guadalbullón.
- 56 " II río Eliche.
- 55 Terraza III río Guadalbullón.
- 54 Glacis.
- 53 Travertinos.
- 52 Conglomerados, arenas y limos rojos.
- 51 Conglomerados, arenas y limos. Margas a la base.
- 50 Conglomerados de cantos prebéticos.
- 49 Margas grises y blancas, localmente con calcarenitas.
- 48 Calizas blancas.
- 47 Calcarenitas.
- 46 Bloques o paquetes de margas margocal. y areniscas calcáreas. Olistol. Cretac. y Terc.
- 45 Bloques o paquetes de calizas prebéticas.
- 44 Bloques o paquetes de yesos (olist. triás.)
- 43 Bloques o paquetes dolomíticos (olist. triás.)
- 42 Unidad olistostrómica. Arcillas, margas y clastos de colores variados de componente y fauna triásica, cretácica y terciaria.
- 41 Margas blancas con calcarenitas, conglomerados y brechas.
- 40 Unidad olistostrómica de elementos mesozoicos y terciarios.



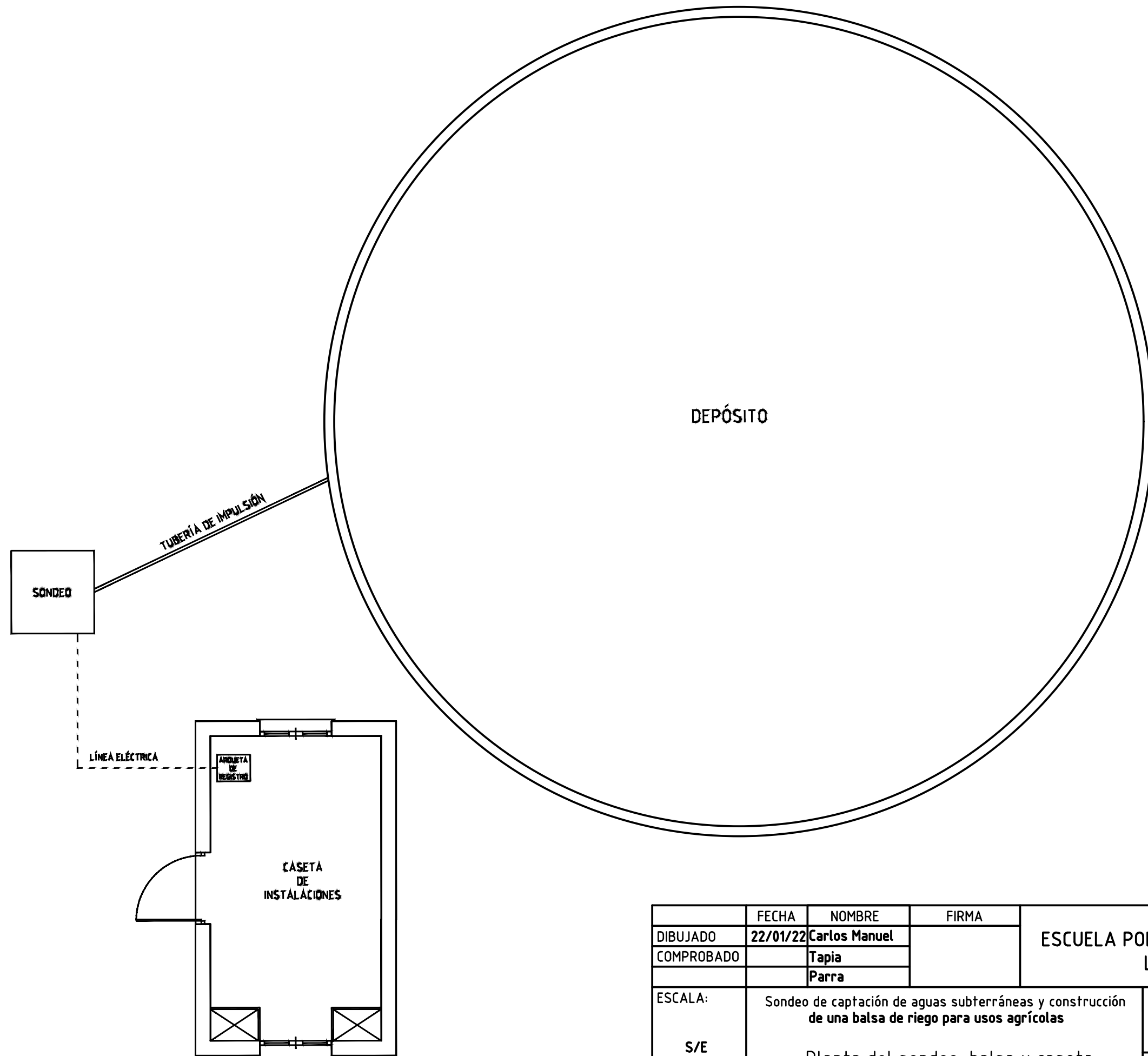
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO 3 / 8
S/E	Encuadre geológico			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



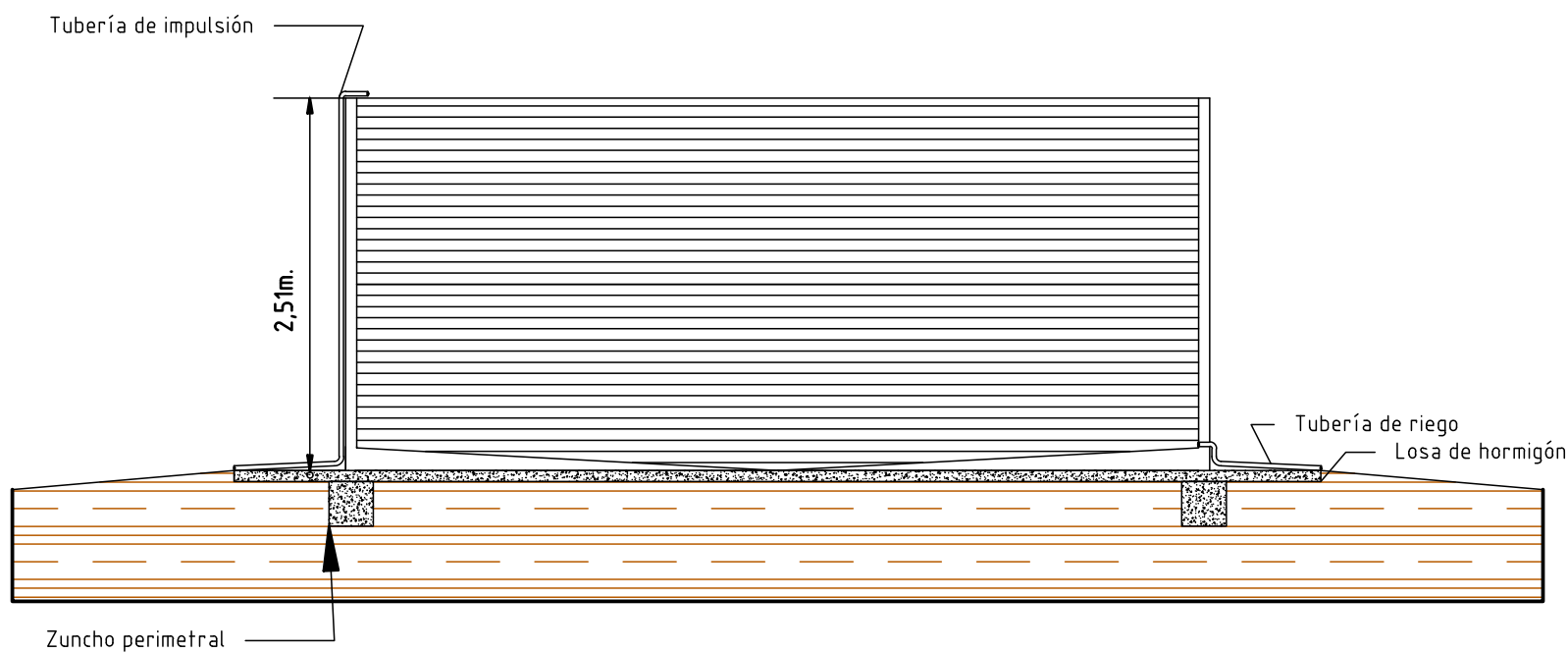
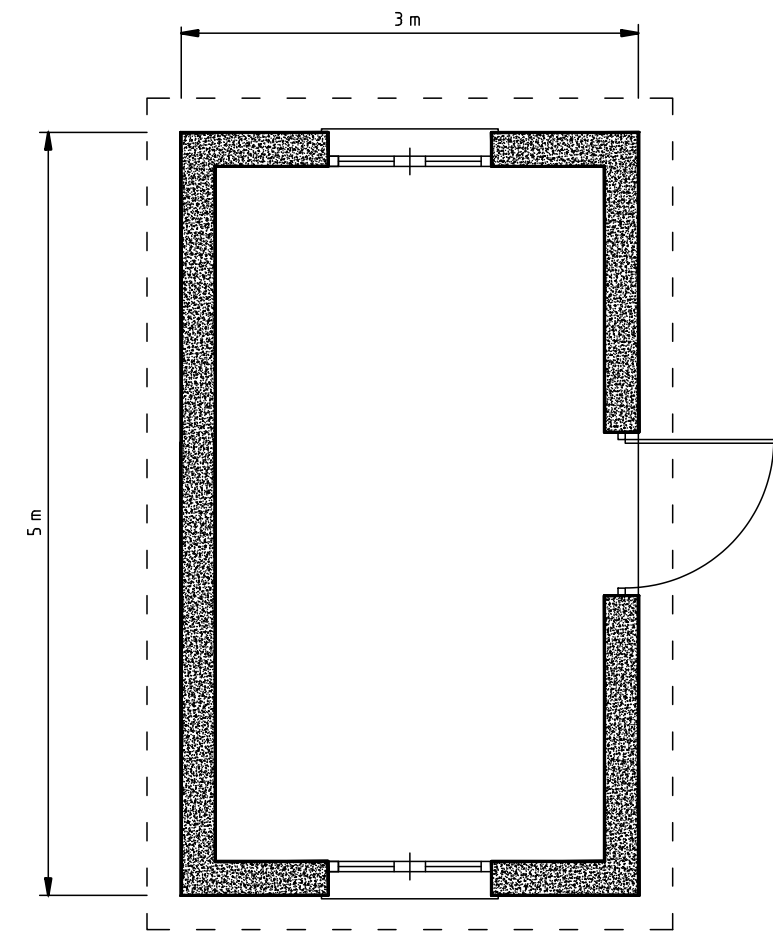
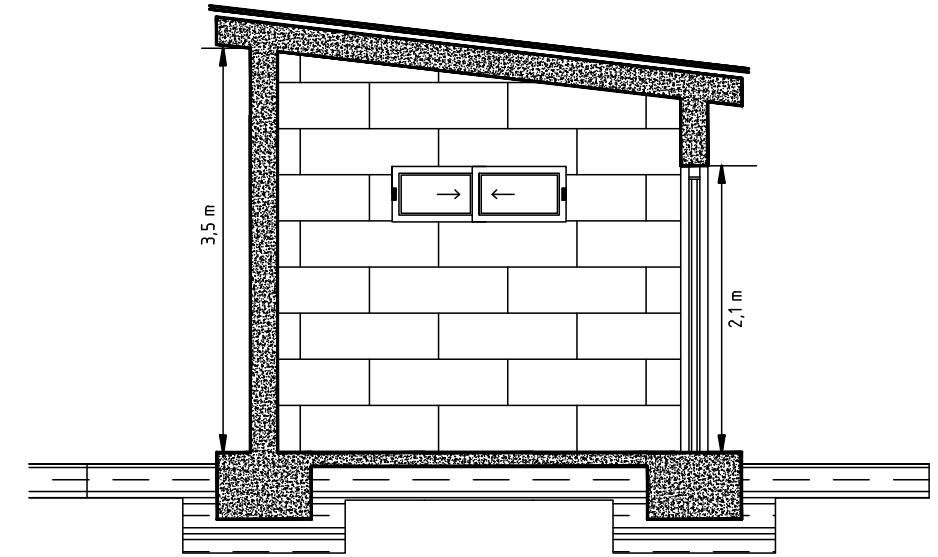
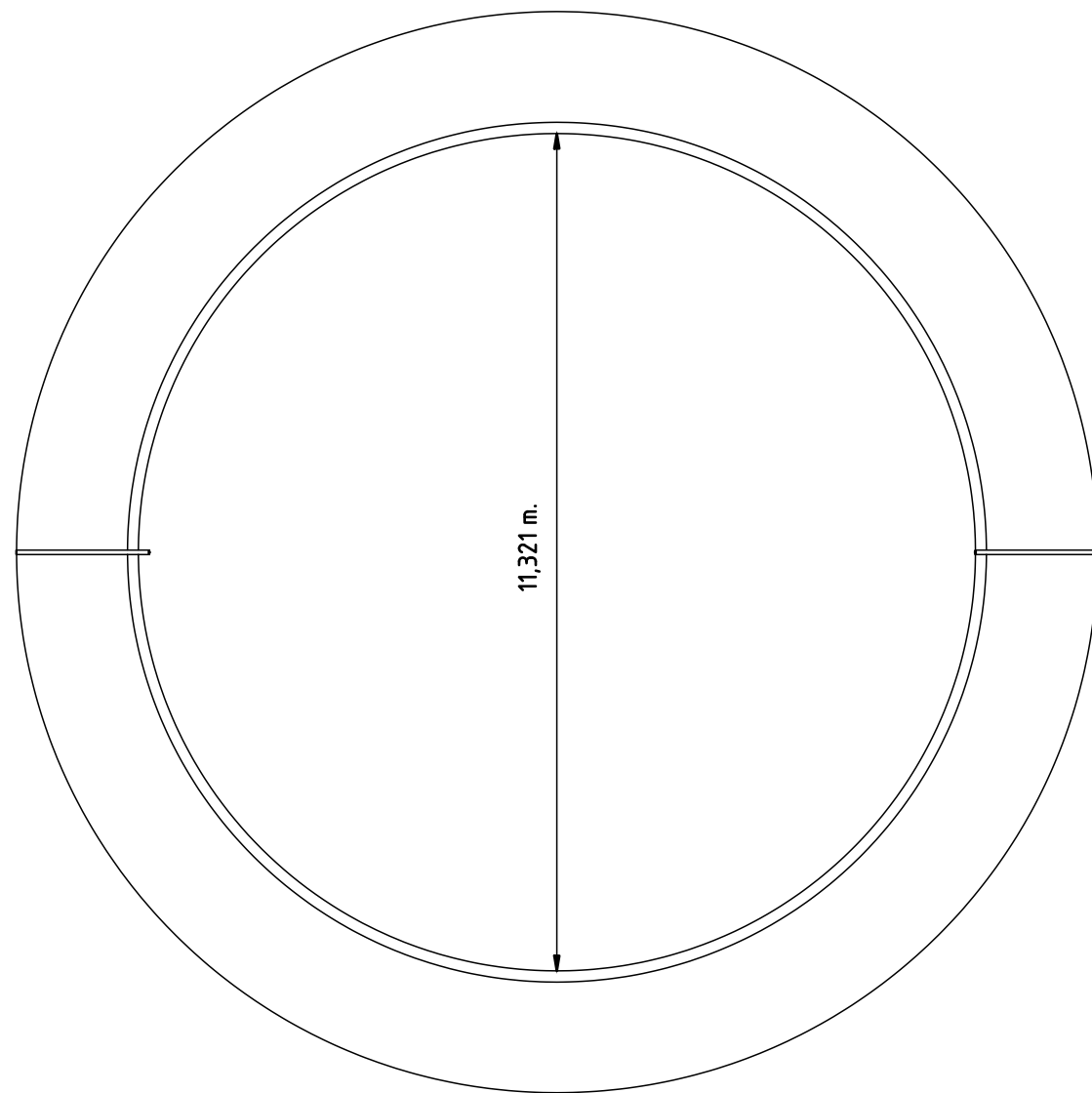
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO
S/E	Encuadre hidrogeológico			4 / 8
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



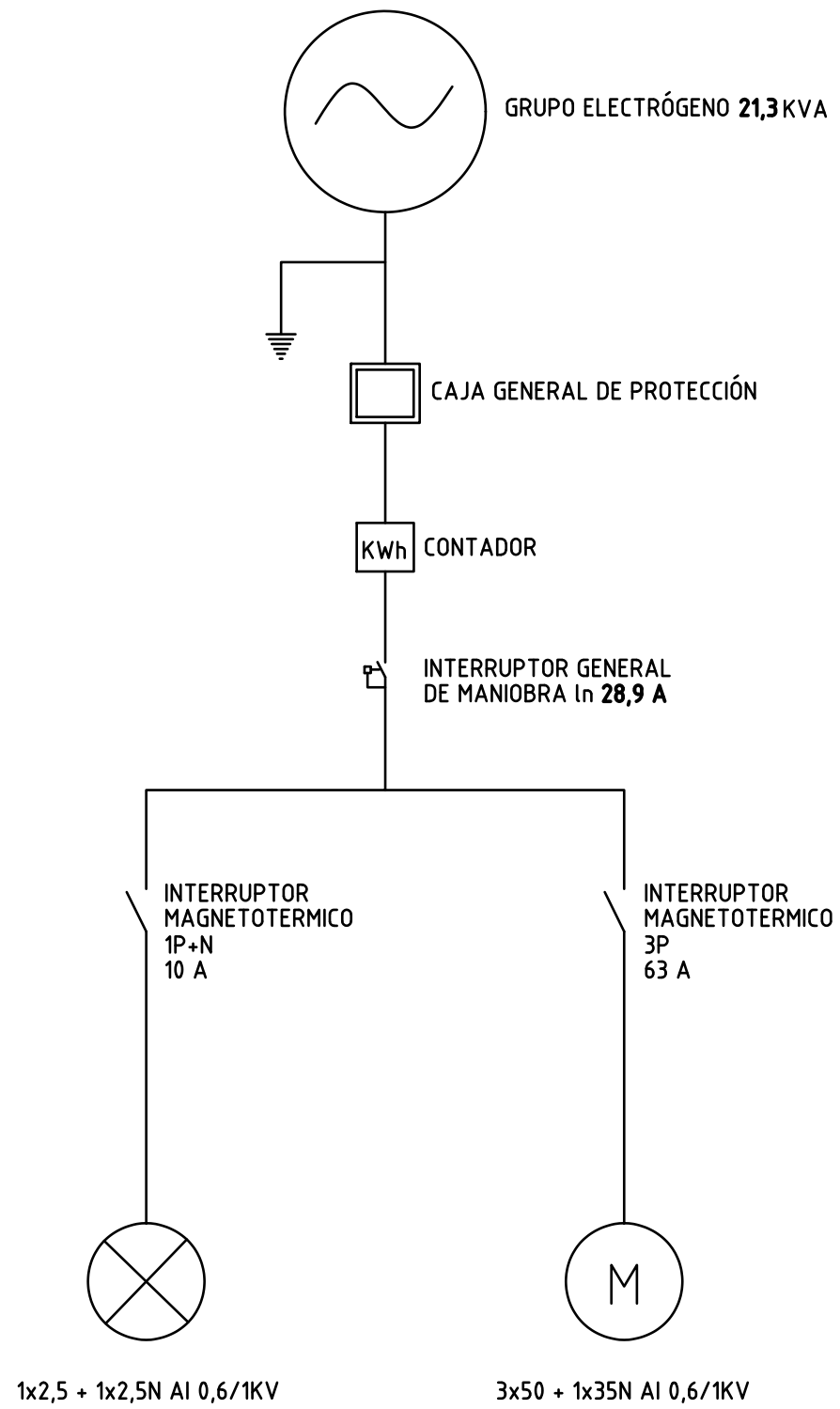
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO
1:15	Perfil de Instalación de sondeo y bomba			5 / 8
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO 6 / 8
S/E	Planta del sondeo, balsa y caseta			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO
S/E	Alzado y planta de balsa de riegos caseta prefabricada de hormigón armado			7 / 8
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	22/01/22	Carlos Manuel		
COMPROBADO		Tapia Parra		
ESCALA:	Sondeo de captación de aguas subterráneas y construcción de una balsa de riego para usos agrícolas			Nº PLANO 8 / 8
S/E	Esquema unifilar			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR: