

## ANEXO I

### ACTUACIONES PARA LA MEJORA EN EL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE CUENCA EN EL MARCO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

#### 1. INTRODUCCIÓN

La Diputación Provincial de Cuenca, en aras de velar por la sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos y del mantenimiento de la actividad agrícola asociada a estos, pretende realizar una serie de actividades encaminadas a mejorar en el conocimiento hidrogeológico de las Masas de Agua Subterráneas pertenecientes a la provincia de Cuenca, en el marco de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, así como mejorar en la calidad de la obtención de información meteorológica de la zona.

Las Masas de Agua Subterráneas objeto de estudio son:

- Lillo-Quintanar
- Sierra de Altomira
- Obispalía
- Rus-Valdelobos

Además, de forma parcial, se analizará la zona norte de la Masa de Agua Mancha Occidental II, dado que se encuentra en la provincia de Cuenca.



Figura 1. Masas de Agua en la provincia de Cuenca y en el marco de la DH del Guadiana

## 2. OBJETO

El principal objetivo de los trabajos es disponer de una mayor y mejor información hidrológica e hidrogeológica de las Masas de Agua Subterráneas, pertenecientes a la provincia de Cuenca, en el marco de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

## 3. DESCRIPCIÓN Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

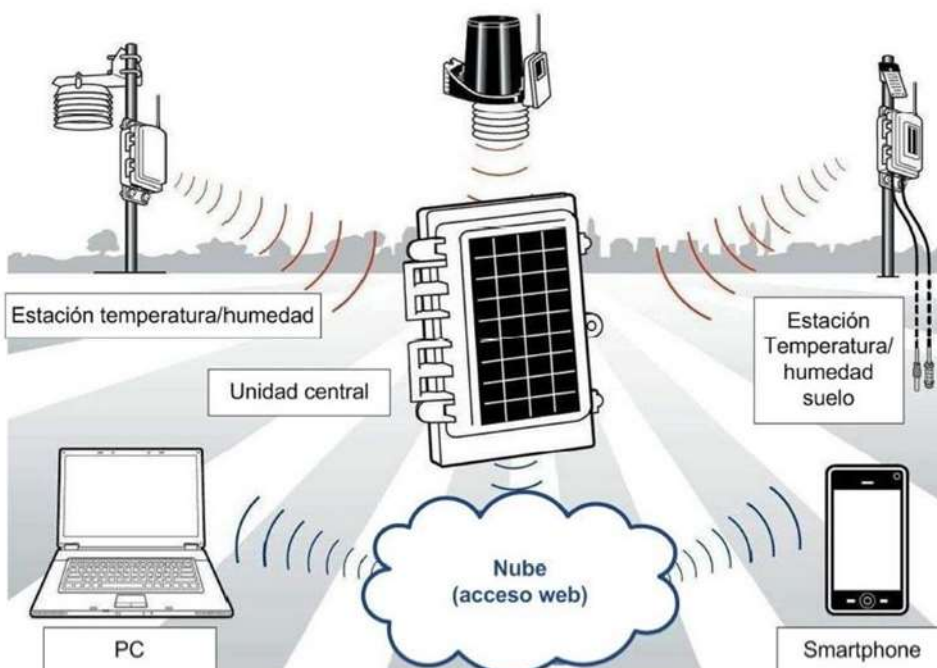
Para lograr el objetivo perseguido, los trabajos a realizar consistirán en las siguientes tareas:

- a) Instalación de estaciones de control meteorológico
- b) Revisión de la información geológica existente
- c) Mejora en el conocimiento geométrico de las masas de agua mediante la realización de un vuelo geofísico electromagnético
- d) Actualización de la geometría de los modelos hidrogeológicos existentes
- e) Elaboración de un modelo hidrogeológico conjunto
- f) Campañas de aforos diferenciales
- g) Campañas de ensayos de bombeo
- h) Campaña de calidad de las aguas subterráneas

Se exponen a continuación los trabajos a llevar a cabo para la consecución de los objetivos propuestos.

### 3.1. INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CONTROL METEOROLÓGICO

La instalación de una serie de redes de control permitiría disponer de datos de precipitación y temperatura con una distribución espacial más completa de la existente actualmente.



La propuesta presentada se compone por una serie de sensores meteorológicos, que envían los datos hasta una unidad central, dotada de módem GPRS que se encarga de enviar los datos automáticamente a una plataforma software en cloud (servidores externos a los que se accede a través de aplicación WEB). Los datos se pueden ver con cualquier navegador o desde un smartphone si se descarga la aplicación. La información recogida en el servidor web será enlazada a la página web de la Diputación de Cuenca así como a la de las respectivas CUAS con el objetivo de que cualquier ciudadano pueda acceder a la información meteorológica en tiempo real.

Destacar que la propuesta presentada no requiere de acometida eléctrica, ya que los sensores van dotados de una pequeña placa solar para su alimentación, así como ocurre con el controlador central de comunicación.



Como se puede apreciar en las figuras, la solución ofertada es un sistema que se compone de un datalogger y un módem protegidos por un cajón estanco resistente a la intemperie y se alimenta mediante un panel solar y una batería de respaldo para una total autonomía. Incluye un sensor de temperatura interna que puede sustituirse por una sonda de temperatura externa.

El módem integrado envía los datos meteorológicos automáticamente a un servidor, donde pueden ser monitorizados de forma inmediata a través de un ordenador, tablet o smartphone, o bien descargados para su gestión. También es posible configurar el envío de alertas en tiempo real por email para determinadas condiciones meteorológicas, como vientos fuertes, temperaturas de congelación, lluvias intensas con posibilidad de inundaciones, etc.

El montaje se realizará sobre mástil venteado para lo que se requerirá de una plataforma plana para su instalación (no suministrada).

La ubicación aproximada de las estaciones meteorológicas propuestas se incluye en la figura siguiente

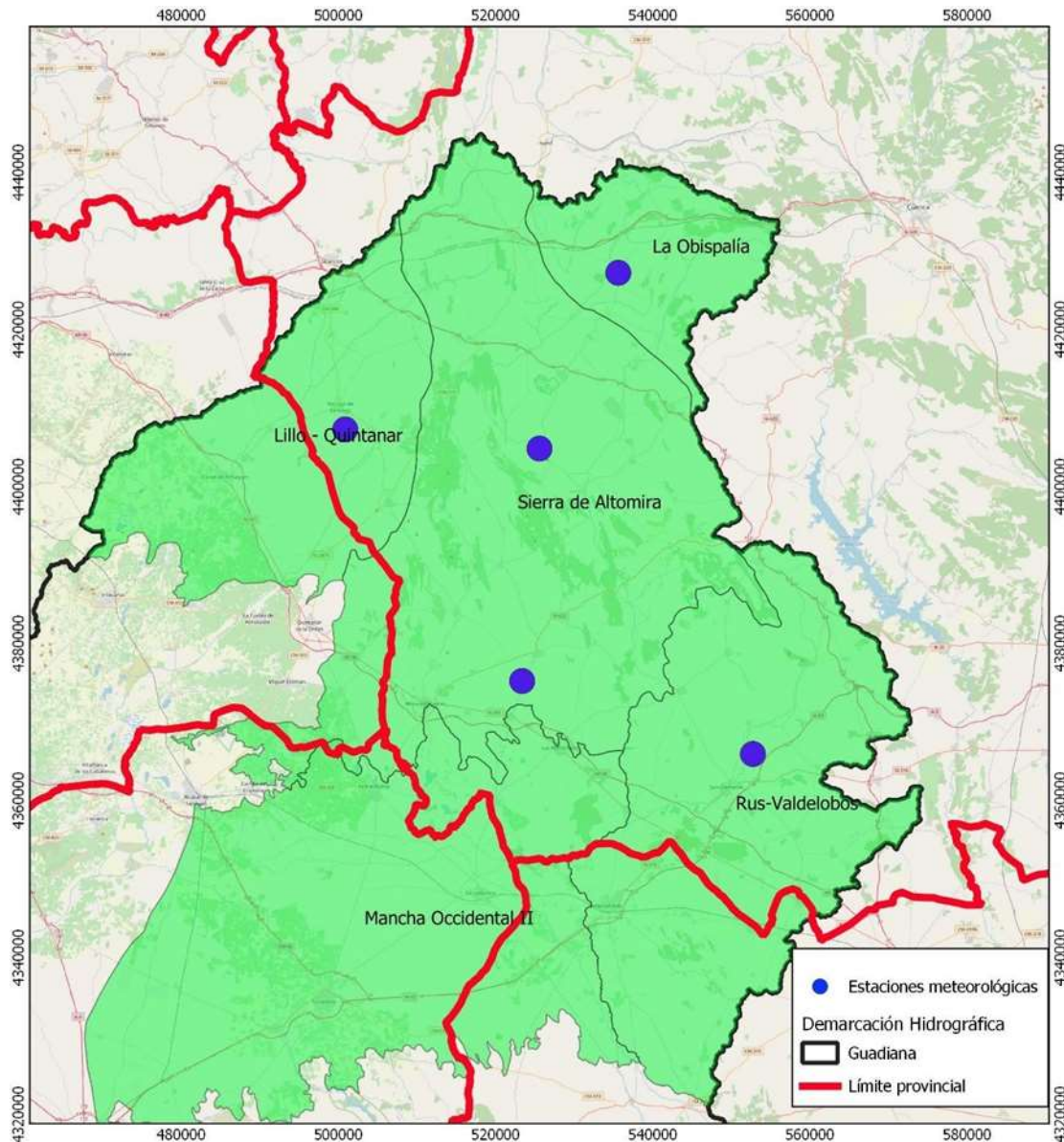


Figura 2. Ubicación aproximada de las estaciones meteorológicas propuestas

### 3.2. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA EXISTENTE

Este trabajo consistiría en la recopilación de la información geológica existente, incorporando aquella disponible por parte de la Diputación de Cuenca.

### 3.3. MEJORA EN EL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE UN VUELO GEOFÍSICO ELECTROMAGNÉTICO

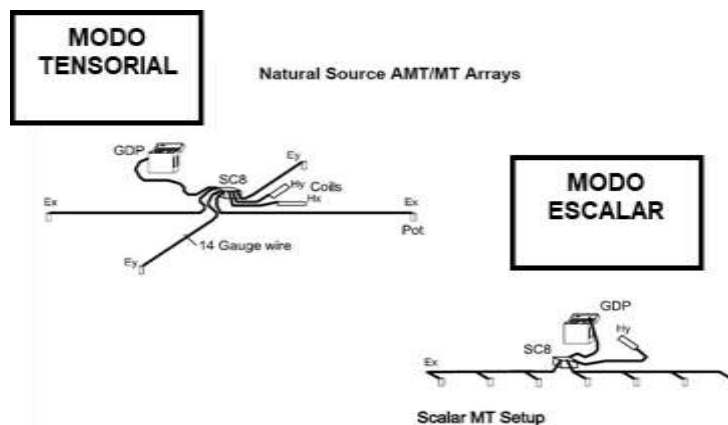
La geofísica se centraría en aquellas zonas con mayor incertidumbre geológica, concretamente y en especial con algunos límites de las Masas de Agua Subterránea y relaciones entre estas, empleando un total de 58 estaciones geofísicas.

El método geofísico propuesto es el Magneto- Telúrico. Este método consiste en medir las corrientes "telúricas" presentes en el subsuelo debidas a la incidencia de ondas electromagnéticas sobre la superficie de la tierra, dependiendo de la conductividad o resistividad de los distintos materiales estas corrientes serán más o menos intensas. El método Magneto-Telúrico pertenece al grupo de los métodos geofísicos Electromagnéticos en el Dominio de Frecuencias. Quiere decir que se mide a diferentes frecuencias, ya que cada frecuencia medida corresponde a una profundidad y distancia del punto medido, dependiendo de la resistividad de los distintos materiales del subsuelo.

Las fuentes en una campaña de MT son naturales, es decir es un método pasivo, siendo principalmente controladas por la actividad electromagnética solar y su interacción con la ionosfera, además de todo el conjunto de ruido electromagnético presente en cada zona de medida. Todas estas fuentes crean ondas electromagnéticas que al incidir perpendicularmente sobre la superficie de la tierra crean corrientes eléctricas (conocidas como corrientes telúricas, que tienen diferentes características dependiendo de los materiales que se encuentren en la zona).

El hecho de que no utilice transmisor hace que la logística de campo sea mucho más sencilla que cualquiera de los otros métodos electromagnéticos, y es posible acceder a zonas prácticamente inaccesibles para métodos como los SEDT o los perfiles de Polarización Inducida ya que ambos métodos necesitan de un transmisor de corriente que generalmente es muy pesado.

Dependiendo de la complejidad de la geología de la zona y del grado de conocimiento requerido se puede medir en Modo Escalar (solo una componente de cada uno de los campos), Vectorial (más de una componente de los campos) o Tensorial (las dos componentes horizontales del campo eléctrico y las dos componentes horizontales del campo magnético al mismo tiempo).



Las ventajas de este método son:

1. Profundidades alcanzadas en el entorno de 1.500 m, utilizando un rango de frecuencias de 1024Hz y 1Hz.
2. Posibilidad de trabajar en entornos con ruido electromagnético muy elevado como es el entorno de minas en producción.
3. Posibilidad de trabajar en zonas con accesos muy restringidos o sin accesos pudiendo tener información de la existencia o no de conductores.



4. Posibilidad de trabajar en zonas donde sabemos que hay conductores cerca de superficie (como pueden ser capas de pizarras grafitosas o acuíferos con altos grados de salinidad en entornos sedimentarios)
5. Elevado ratio superficie cubierta/plazo de ejecución.
6. Elevada velocidad de obtención de resultados facilitando la toma de decisiones en tiempo real: selección de posibles objetivos, cierres de malla y/o aplicación de otros métodos de apoyo y/o diferente resolución.

### **3.4. ACTUALIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LOS MODELOS HIDROGEOLÓGICOS EXISTENTES**

La nueva información generada en las tres actividades anteriores permitirá realizar una actualización en la geometría de los modelos hidrogeológicos existentes o en proceso de las masas de agua en estudio (Rus-Valdelobos, Sierra de Altomira y Lillo Quintanar), así como la construcción de la geometría de la masa de agua subterránea la Obispalía.

### **3.5. ELABORACIÓN DE UN MODELO HIDROGEOLÓGICO CONJUNTO.**

Dado que se están realizando modelos hidrogeológicos en determinadas masas de agua, sería interesante realizar un modelo conjunto, que agrupe las cuatro masas de agua, donde sería necesario ejecutar el modelo de la masa Obispalía por no existir actualmente dicho modelo.

El modelo hidrogeológico constará de las siguientes fases:

- a) Determinación del balance hídrico y modelo conceptual
- b) Determinación de parámetros hidráulicos
- c) Construcción del modelo numérico
  - o Geometría
  - o Condiciones de contorno
  - o Calibración
- d) - Explotación del modelo

Se describen a continuación cada una de las fases mencionadas:

### 3.5.1. DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO Y MODELO CONCEPTUAL

Empleando toda la información generada y recopilada en las fases anteriores, se desarrollará un modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico del acuífero en el cual vendrán definidos los siguientes términos:

- Marco geológico (contexto general, serie estratigráfica y tectónica)
- Hidrología superficial (sistema hidrológico, climatología y balance hídrico en el suelo)
- Hidrogeología
  - Formaciones permeables
  - Geometría de los acuíferos (topografía superficial, basamento, geometría interna)
  - Límites del sistema (condiciones de contorno)
  - Captaciones
  - Piezometría (mapas isopiezas y evolución piezométrica disponible)
  - Esquema de flujo (espesor saturado, equipotenciales, gradiente)
  - o Parámetros hidráulicos (distribución de la permeabilidad y coeficiente de almacenamiento)
  - Balance hídrico (entradas, salidas, relación sistema hidrológico superficial-subterráneo y relaciones entre masas de agua vecinas).

El balance hídrico será obtenido integrando toda la información desarrollada hasta este punto.

Los términos del balance hídrico serán:

- Entradas:
  - Infiltración por precipitación directa
  - Infiltración por retorno de regadíos
  - Infiltración por cauces y embalses superficiales
  - Entradas laterales
  - Pérdidas de redes de abastecimiento y saneamiento
    - Salidas:

- Bombeos
- Manantiales
- Salidas al sistema superficial
- Salidas laterales

Las entradas por precipitación directa se determinarán mediante un balance hidrometeorológico en el suelo, partiendo de las propiedades edafológicas del mismo (capacidad de campo, punto de marchitez y espesor radicular) y calculando el umbral de escorrentía (P0) a partir de las pendientes, usos del suelo y permeabilidad.

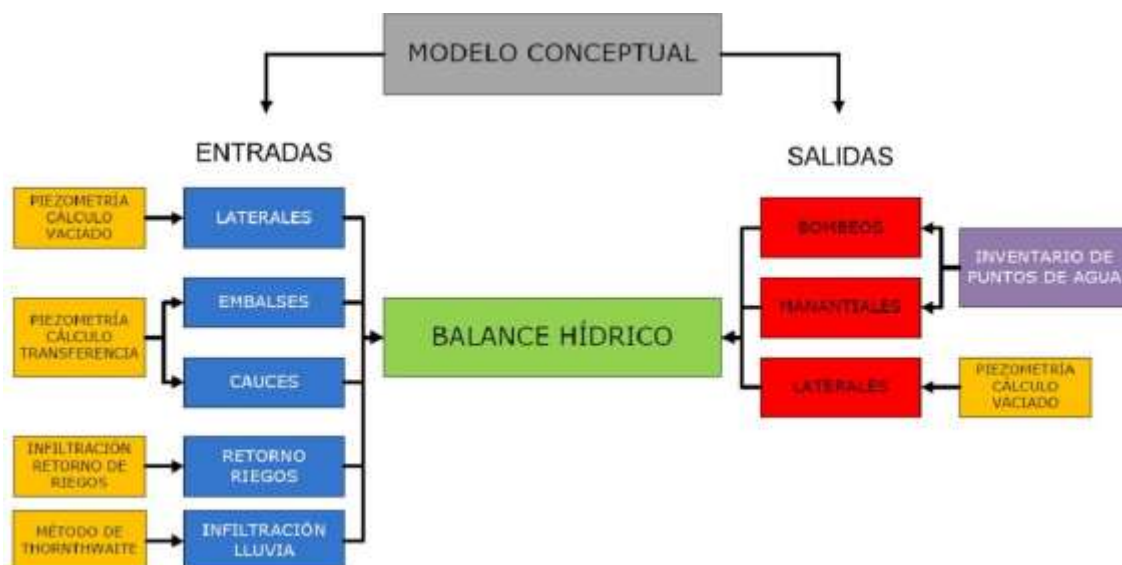
Se determinará la evapotranspiración por el método de Thornthwaite y/o Penman Monteith a partir de los datos meteorológicos que se recaben.

Las entradas por retorno de regadío se obtendrán a partir de los tipos de cultivo y dotaciones de riego, sistema de riego y porcentajes de pérdida teóricas.

La infiltración por cauces y embalses se realizará también con métodos indirectos, bibliografía y se ajustará durante el proceso de calibración del modelo numérico.

Por otro lado, las salidas por bombeos y manantiales serán obtenidas a partir de la información recopilada, y las salidas al sistema superficial o laterales serán calibradas en fases posteriores.

A modo esquemático, el proceso de obtención de balance hídrico será el siguiente:



### 3.5.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS



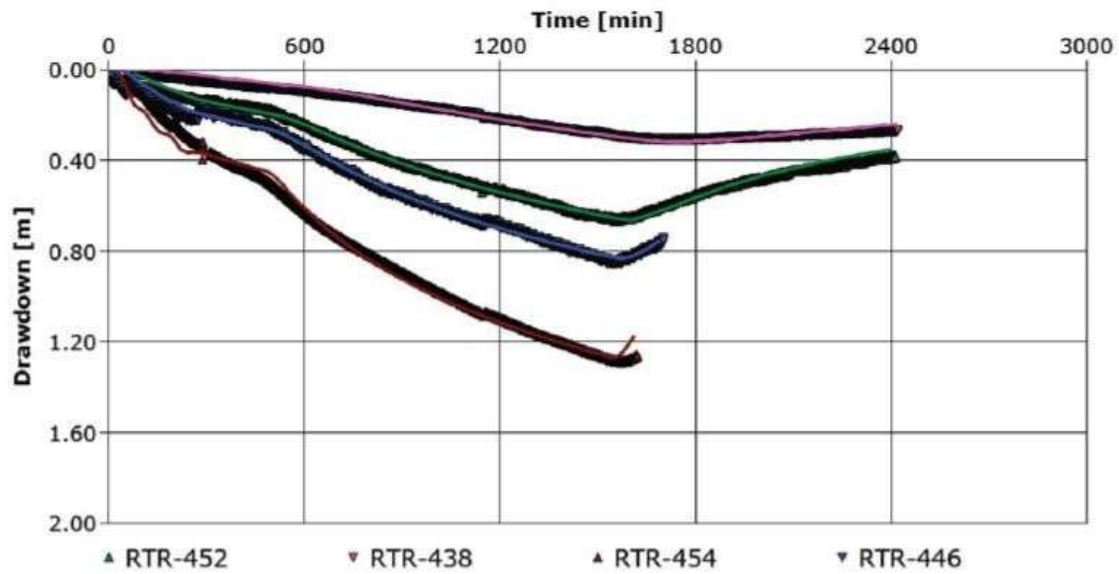
Resulta de especial interés establecer de manera precisa los parámetros hidráulicos de los acuíferos, ya que son determinantes en los flujos subterráneos y su correcta fijación es indispensable para conocer el comportamiento de estos y, por tanto, de base para la realización del modelo numérico de flujo.

Los parámetros hidráulicos, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, sólo se obtienen de la interpretación de ensayos de bombeo y cuando no existen, o son escasos, es habitual utilizar aproximaciones basadas en el caudal específico del pozo, como la Thiem o Galofré, donde también intervienen otros factores, como depresiones asociadas a pérdidas de carga en el pozo y zona próxima del acuífero, que pueden desviar notablemente los valores respecto a los reales, por lo siempre deben estar contrastados o utilizarse como referencias, pero no como únicos valores.

Para limitar estos posibles errores y afianzar los parámetros elásticos, factores en los que se basa el flujo subterráneo, se propone reinterpretar los ensayos de bombeo que se puedan recopilar. Sobre los datos de descensos del nivel de agua en función del tiempo y para un régimen de caudal conocido, se realizará un ajuste mediante Aquifer Test. A partir de la interpretación de los datos se obtendrán valores de transmisividad (T), coeficiente de almacenamiento y/ o porosidad (S), coeficiente de goteo (B), etc., de los cuales se podrán extraer de forma derivada, una vez definida la geometría del acuífero, la permeabilidad (K) y el radio de influencia (R).

Esta aplicación reproduce una curva de descensos teórica y la ajusta en sucesivas iteraciones a la experimental, mostrando finalmente el resultado.

El programa considerará, igualmente, la posibilidad de aportación de agua desde niveles de reducida permeabilidad (acuitardos) en función del potencial hidráulico, por lo que se procederá también a su estudio.



Calculation using Hantush

Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Storage coefficient	Hydr. resistance [min]	Radial Distance to PW [m]
RTR-452	$3.15 \times 10^1$	$2.10 \times 10^{-1}$	$1.26 \times 10^{-3}$	$9.56 \times 10^6$	116.49
RTR-438	$3.38 \times 10^1$	$2.25 \times 10^{-1}$	$3.15 \times 10^{-4}$	$6.43 \times 10^7$	389.73
RTR-454	$2.39 \times 10^1$	$1.59 \times 10^{-1}$	$5.94 \times 10^{-5}$	$3.69 \times 10^8$	307.26
RTR-446	$2.84 \times 10^1$	$1.90 \times 10^{-1}$	$3.83 \times 10^{-3}$	$2.91 \times 10^7$	55.9
Average	$2.94 \times 10^1$	$1.96 \times 10^{-1}$	$1.37 \times 10^{-3}$	$3.55 \times 10^8$	

Figura 4. Ajuste de una prueba de gasto mediante Acuífer Test. Elaboración propia

Estos parámetros se obtendrán de ensayos de bombeos ya realizados de los que se disponga información y de los ensayos de bombeo a realizar en el marco de estos trabajos.

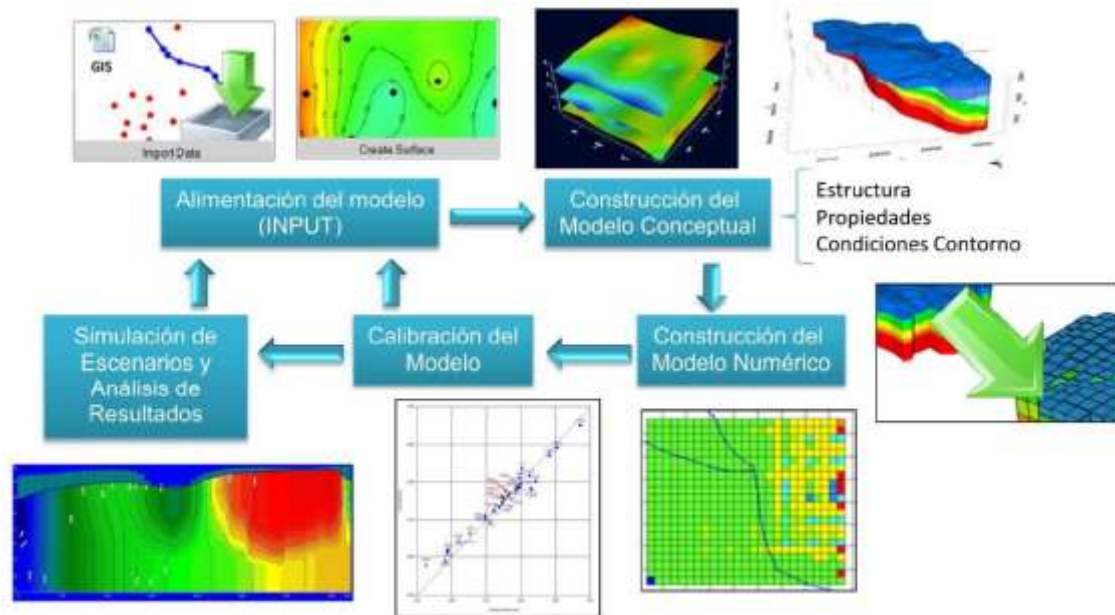
### 3.5.3. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO

Se construirá un modelo numérico de las masas de agua subterráneas en entorno Visual MODFLOW, con el objetivo de reproducir, de forma controlada, el comportamiento del acuífero frente a fenómenos externos, ya sean naturales (recarga por precipitación, ríos, etc.) como artificiales (bombeos, regadíos, etc.), con el objetivo final de poder simular distintas situaciones futuras.

El proceso de construcción del modelo se realizará en las siguientes actividades, que también se resumen en el esquema de flujo adjunto:

- Modelo conceptual
- Alimentación y construcción del modelo numérico
- Calibración y validación

- Simulación de escenarios



### 3.5.3.1. GEOMETRÍA DE LOS ACUÍFEROS

Previo a la ejecución del modelo, la geometría deberá ser definida acorde a la información existente. En este sentido se realizarán cortes geológicos o hidrogeológicos, donde se identifique la posición del basamento impermeable tanto en planta como en perfil y se pueda definir una geometría tridimensional simplificada.

A partir de toda la información de tipo geológico e hidrogeológico levantada en terreno y en antecedentes, situación y características de los pozos que se cataloguen, etc., se ordenará e integrará en el programa informático Hydro GeoAnalyst v.2014, de Schlumberger Water Services, del que se dispone de licencia de uso.

Este programa integra datos de geología de superficie, con columnas litológicas de perforaciones, perfiles geofísicos, y bases de datos geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos, permitiendo su tratamiento gráfico común, la confección de cortes geo-hidrogeológicos y esquemas en 3D. El programa también permite la generación de planos de isovalores (isopiezas, isohipsas, isopacas, etc.) y su edición/exportación de ficheros ".shp" para su tratamiento en GIS.

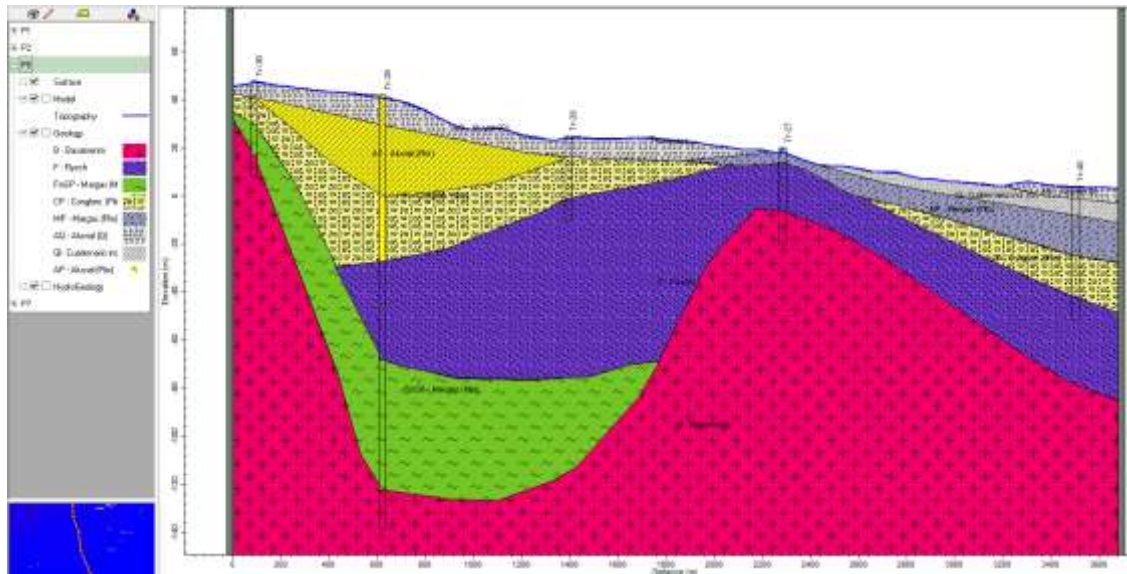


Figura 6. Corte geológicos de los acuíferos de la Costa del Sol (Málaga) Fuente: Elaboración propia

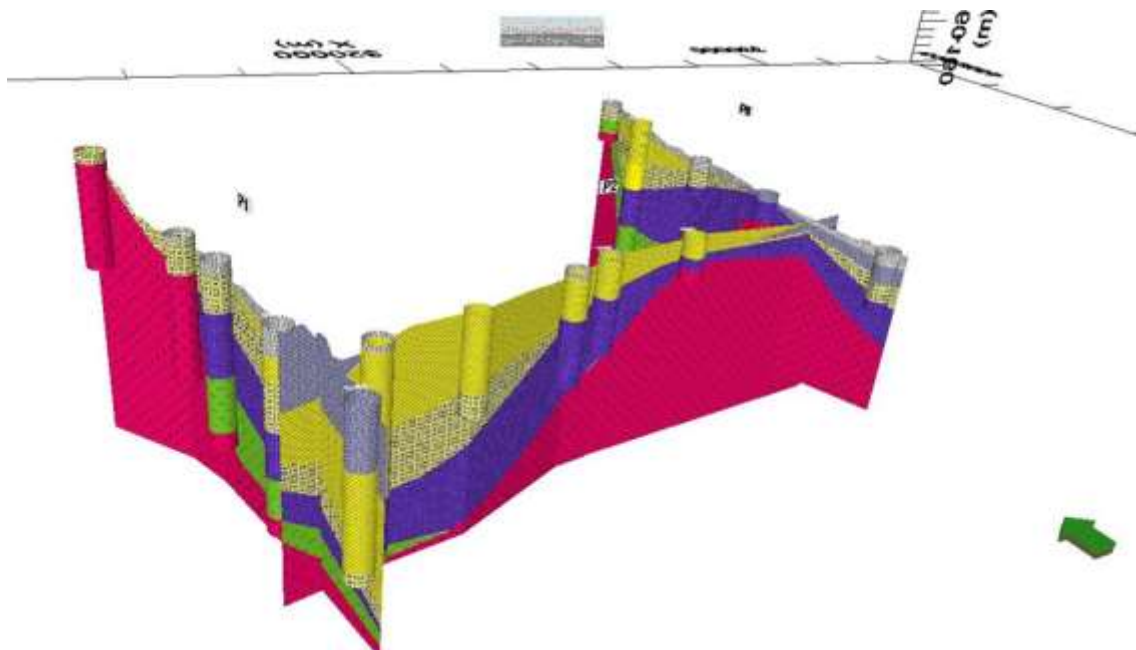


Figura 7. Vista 3D de cortes geológicos mediante el software Hydro GeoAnayst Fuente: Elaboración propia

Con la información introducida se generarán perfiles geológicos de forma estratégica para definir el acuífero en su conjunto. Mediante estos perfiles, se realizará una correlación hidrogeológica entre los distintos puntos con información (columnas, geofísica, geología de superficie, etc.), trazando finalmente la distribución espacial del acuífero y su disposición tridimensional.

Se utilizará la geometría obtenida en estudios anteriores, realizados por las propias CUAS, así como en la información obtenida en el presente trabajo a partir de la recopilación de columnas geológicas y de la geofísica propuesta realizar.

### 3.5.3.2. CONDICIONES DE CONTORNO Y ELEMENTOS DEL MODELO

Se incluirán en el modelo las siguientes condiciones de contorno:

- Celdas inactivas. Aquellas zonas que estén definidas como límites impermeables del acuífero (afloramiento del triásico, cretácico impermeable, etc.) o se supongan impermeables y/o fracturas con saltos piezométricos evidentes.
- Celdas activas. La zona ocupada por los materiales acuíferos.
- Zonas de recarga. Se asignará mediante el paquete "Recharge", el cual permite una asignación de un caudal de entrada en la parte superficial del modelo, acorde a la zonificación definida en el modelo conceptual.
- Pozos de bombeo. Se incluirán aquellos puntos de bombeo identificados en antecedentes y en el trabajo de campo.
- Puntos de observación. Estos serán aquellos en los cuales se ha podido tomar una muestra de nivel piezométrico o aquellos que hayan podido ser recopilados. Servirán para calibrar el modelo y comparar la realidad con la simulación.
- Cauces: se incluirán con la condición tipo "River", donde se regulará la transferencia acuífero-sistema superficial mediante la conductancia entre ambos.
- Manantiales: en caso de que se identifiquen, se incluirán como puntos de drenaje.

### 3.5.3.3. CALIBRACIÓN

La calibración del modelo se realizará en primer lugar en régimen permanente y posteriormente, en caso de que haya suficiente información para ello, en régimen transitorio.

La primera calibración tendrá como objeto identificar las incongruencias mayores que se hayan podido cometer al asignar las características geométricas, variables hidráulicas, alimentación y salidas naturales al modelo.

Las zonas donde no se ajuste la piezometría en régimen natural a la generada por el programa, se revisarán y se modificarán hasta alcanzar un error de salida (RMS) inferior al 3%, donde se dará por válida la calibración estacionaria.

La calibración en transitorio se centrará en el ajuste final de la permeabilidad y en el ajuste del coeficiente de almacenamiento, considerando un buen ajuste cuando el modelo reproduzca las tendencias registradas en puntos de observación. Asimismo, el error de salida (RMS) de la calibración en régimen transitorio se procurará que sea también inferior al 3%, siempre y cuando los niveles de piezómetros sean previamente seleccionados por la fiabilidad de su información.

El modelo será validado si se dispone de información necesaria para ello, de lo contrario, se dará por bueno si la calibración ha resultado satisfactoria

#### 3.5.3.4. EXPLOTACIÓN DEL MODELO.

Una vez construido el modelo numérico, éste será utilizado para simular escenarios futuros y analizar la respuesta del acuífero según los mismos.

Permitirá cuantificar el volumen explotable en las masas de agua de forma sostenible, las relaciones entre ellas, así como la afección que tendrá la extracción en una masa de agua sobre otras y viceversa.

En este sentido, se podrá definir un plan de explotación sostenible, acorde a las ofertas y demandas de cada zona

### 3.6. CAMPAÑAS DE AFORO DIFERENCIAL

Otro aspecto interesante podría ser realizar aforos diferenciales en los cauces que discurren por la zona de estudio, donde poder analizar qué tramos son ganadores, cuales perdedores y cuantificar dicha relación y que esta sea incorporada a los balances hídricos de las masas.

Se llevarán a cabo un mínimo de 30 aforos directos, para lo cual se contará con personal técnico cualificado en la materia, con más de 5 años de experiencia en trabajos de aforos.

El método a emplear dependerá de la tipología del elemento a medir, pudiendo ser aforos con flotador o aforos con molinete.

Para el caso de aforos mediante flotador, la metodología a seguir será la siguiente:

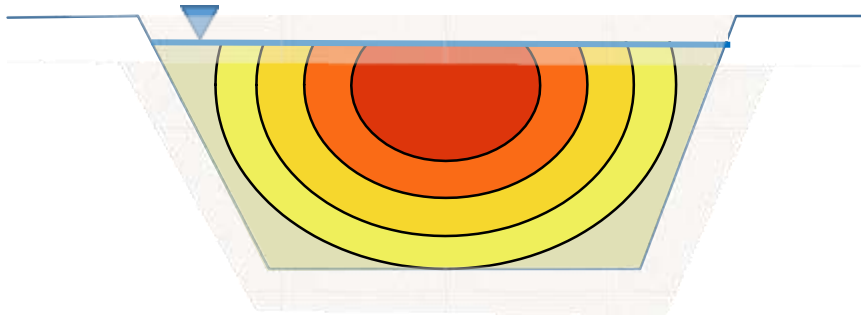
- Dibujo de croquis de la sección y tramo a medir (tomando medidas de anchura, profundidad, etc.), de forma que quede caracterizada la geometría de la sección o secciones.
- Caracterización del material sobre el que discurre el agua
- Toma de datos:
  - o Altura de calado

- Lectura de escala (si procede)
  - Cronometraje que tarda en recorrer el flotador una longitud determinada (20, 10 o 5 metros, en función del tramo a aforar)
  - Se dispondrá de una pelota de goma visible, con densidad similar a la del agua de forma que quede prácticamente sumergida sin llegar a hundirse. La pelota (flotador) será colocada aguas arriba del punto de inicio del tramo a cronometrar a los efectos de que la velocidad, al pasar por el punto mencionado, sea estable al iniciar cronometraje.
- Corrección de la velocidad: una vez tomada la velocidad del flotador, ésta deberá ser corregida para determinar la velocidad media del flujo circulante:

$$\text{Velocidad media} = k \cdot \text{Velocidad superficial}$$

Siendo k un coeficiente corrector, que a inicio se supondrá un valor de 0.85 y se irá ajustando según los datos obtenidos mediante aforo con molinete para cada uno de los puntos de forma específica.

Resulta necesaria la aplicación de un factor corrector, ya que la velocidad de flujo no es la misma en todos los puntos del cauce o canal. En la figura siguiente, se muestra una sección transversal tipo de canal, en la cual se dibujan líneas de isovelocidades que dan cuenta de la distribución de la velocidad de flujo en cada parte del canal:



Sección tipo de cauce con distribución teórica de velocidad de flujo. Fuente: elaboración propia

Puesto que el flotador se coloca aproximadamente por la zona centro-superior del flujo, la velocidad que se registraría en este punto es aproximadamente un 20% superior a la media global. En cualquier caso, para cada aforo a realizar se llevará a cabo una calibración del coeficiente corrector específico.

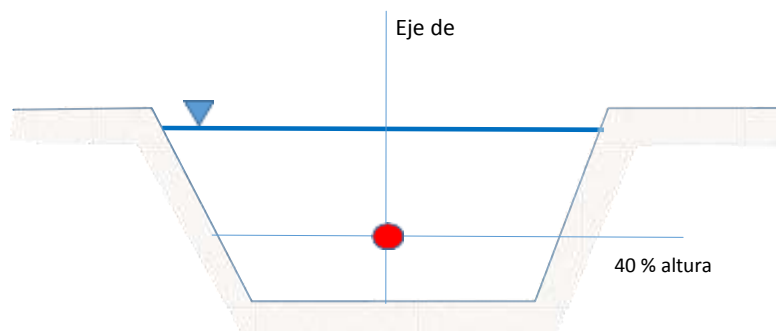
En el caso de aforos mediante molinete, la metodología a seguir será la siguiente:

- Previo a la toma de datos, al igual que para el aforo con flotador, se realizará una caracterización de las dimensiones del cauce o canal a medir en el tramo a aforar.

- Posteriormente se establecerá un mallado de medidas en cada sección a aforar, tratando de tomar medidas equidistantes, tanto en anchura como en profundidad.
- De forma general, se tomarán como mínimo las siguientes medidas, repitiendo en todos los casos la medida para asegurar la correcta toma de datos:

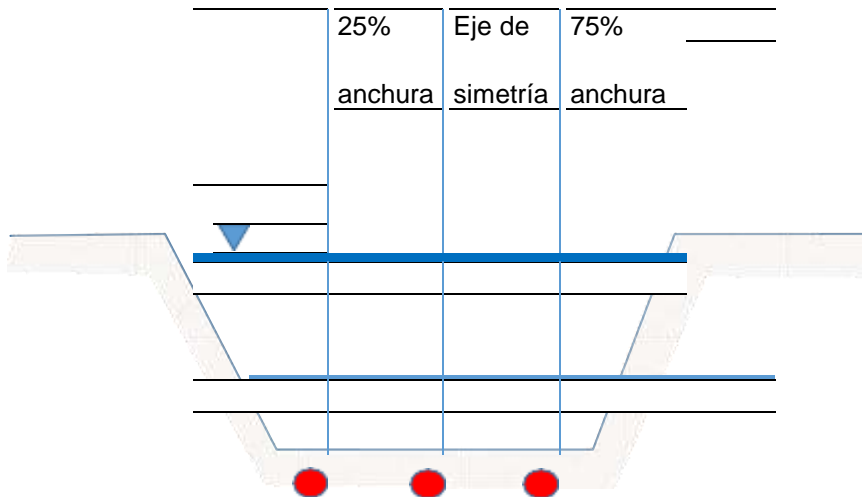
Medidas a tomar en función del ancho y calado	Calado	
	< 0,5 m	> 0,5 m
	< 1 m	Una única toma en el eje de simetría del cauce a una profundidad desde la solera del 40% de su calado.
		Dos medidas verticales al 25 y 75 % de la anchura de flujo de agua con opción de una tercera en su eje de simetría (al 50%). Cada una de las verticales se tomarán a una profundidad del 20 y 80%, en caso de que las condiciones de la solera no lo permitan se sustituirá las medidas al 20% por medidas al 40% del calado
Ancho superficial flujo del agua	1 - 3 m	
	3 - 5 m	Tres verticales al 25 y 75% de la anchura de flujo y en su eje de simetría (50%). Cada una de las verticales se tomarán al 20 y 80% en caso de que las condiciones de la solera no lo permitan se sustituirá las medidas al 20% por medidas al 40%

En todo caso se incluirán los datos en estadillo normalizado. Punto de medida para el primer caso incluido en la tabla anterior:

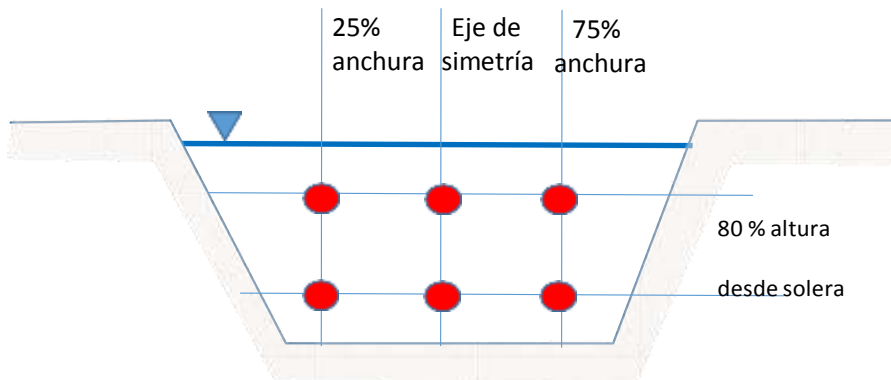


Puntos de medida para el segundo caso descrito en la tabla anterior (el punto central es opcional):






Puntos de medida para el tercer (puntos centrales opcionales) y cuarto caso descrito en la tabla anterior:




Para esta tarea se utilizarán los **equipos** que mejor se adapten a los trabajos a realizar, que a criterio de consultor son los siguientes:

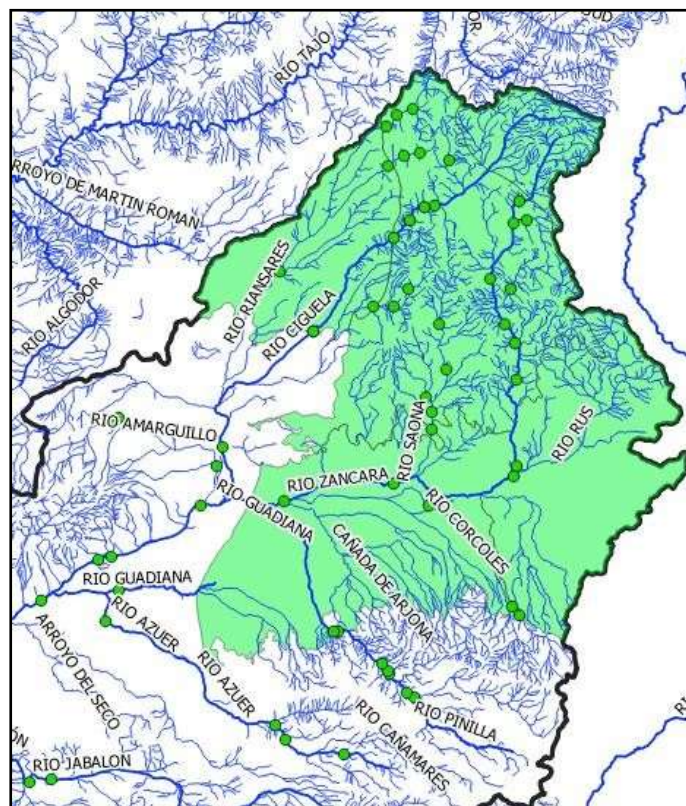
En función del caudal a medir, dos tipos de molinetes:

<p>- Molinete OTT-C2.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capaz de medir la velocidad de flujo exacta a partir de 0.025 m/s</li> <li>○ Para profundidades mínimas de agua a partir de 4 cm</li> </ul>	

### 3.7. CAMPAÑAS DE ENSAYOS DE BOMBEO

<p>- Molinete OTT-C31</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Amplio rango de medidas entre 0.25 y 10.00 m/s.</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Como molinete de barra o flotante.</b></li> </ul>	
	

La ubicación de los puntos de aforo se elegirá con dos objetivos fundamentales: por un lado registrar información foronómica de cauces para los que no existen datos, y por otro complementar/actualizar los registros de estaciones foronómicas existentes. Para ello, de manera previa a las campañas de campo se realizará una recopilación y análisis de información procedente de diversos organismos públicos. Esto permitirá optimizar al máximo las campañas a realizar. La siguiente figura muestra la ubicación de las estaciones empleadas en la actualidad para caracterizar el flujo de los cauces:



### 3.8. CAMPAÑAS DE ENSAYOS DE BOMBEO.

De forma que haya una mejor caracterización en la variabilidad de la transmisividad en las masas de agua y dado que existe compromiso de colaboración por parte de las CUAS, podrían realizarse ensayos de bombeo supervisados.

En primer lugar, se realizará una selección de los puntos para realizar los ensayos de bombeo, cuyos criterios serán por un lado, seleccionar aquellas captaciones que posean unas características adecuadas para realizar el ensayo, tales como, instalación de grupo electrobomba activo, posibilidad de medida de nivel piezométrico y control de caudal y presión, y por otro, que disponga de posibles puntos de observación para registrar la evolución de nivel piezométrico en un radio de no más de 50 m de distancia al punto de bombeo.

Asimismo, dentro de esos condicionantes, se estudiará la posibilidad de realizar una distribución espacial lo más homogénea posible, tratando de realizar ensayos de bombeo en todas las masas de agua y en diferentes puntos de estas. Dada la extensión las MASb y la cantidad de información previa existente, se considera que un total de 10 ensayos de bombeo serán suficientes para complementarla adecuadamente.

En cada punto seleccionado se realizará un ensayo de bombeo, que constará de un pozo de bombeo y de uno o varios puntos de observación.

La metodología a llevar a cabo tendrá como finalidad la obtención de los parámetros hidráulicos del acuífero, por tanto, ésta dependerá de las condiciones de la instalación de cada punto de bombeo, pudiendo ser un ensayo de bombeo a caudal constante o caudal variable en función de las circunstancias que se presenten.

El objetivo de cada ensayo será registrar la curva de descensos en el pozo y en los puntos de observación hasta que se consiga un régimen estático, es decir, se buscará el caudal máximo de explotación posible (con la limitación del equipo de bombeo existente y con las características hidráulicas del acuífero, así como las características constructivas del pozo) consiguiendo la estabilización de los niveles. Por tanto, si se desconoce dicho caudal y éste puede ser regulado (bien con válvula de corte o bien con variador de frecuencia), el ensayo comenzará siendo de tipo escalonado y terminará siendo a caudal constante, tratando de estabilizar en cada escalón hasta lograr estabilización a caudal máximo, o de tipo caudal continuo, si se conoce con anterioridad el caudal máximo sostenible en el pozo.

El equipo de bombeo empleado será el instalado en cada punto y dispondrá de los siguientes elementos:

- Dispositivo de control continuo de caudal de bombeo, que será contrastado con un caudalímetro portátil electromagnético
- Tubería para medida de nivel piezométrico, en el cual se realizarán medidas de nivel durante

el ensayo y/o se instalará un sensor de nivel que registre los datos en continuo (data logger)

- Válvula de cierre para regular caudal o variador de frecuencia
- Manómetro

En los puntos de observación se realizarán también medidas de la profundidad del nivel piezométrico y/o se instalarán sensores de nivel que registren en continuo la variación de esta.

Adicionalmente, se realizará un control de la evolución de parámetros in situ, tales como la conductividad eléctrica, temperatura y turbidez del agua bombeada.

El procedimiento del ensayo será el siguiente:

1. Se realizará un croquis de situación del pozo de bombeo y puntos de observación, estableciendo un código de referencia para cada uno de ellos. Además, se comprobarán las características que reúne el equipamiento electromecánico del pozo para determinar el caudal y régimen de extracción de agua recomendado.
2. Se tomarán medidas de nivel estático antes de poner el equipo de bombeo en marcha, tanto en el pozo de bombeo como en los puntos de observación. Asimismo, se asegurará que no haya afección por bombeos vecinos y que el punto de bombeo seleccionado lleve más de 24 horas sin funcionar.
3. Se instalarán aquellos sensores de nivel de registro continuo en los puntos más adecuados.
4. Se preparará el punto de vertido del agua a bombear
5. Se verificarán que la válvula de retención funcione correctamente
6. Se instalará el caudalímetro portátil en el lugar más adecuado, evitando zonas de flujo turbulento y se considerará el tipo de tubería, espesor y diámetro de la misma.
7. Se programarán los caudales de cada escalón, en función del caudal máximo que el propietario indique previamente.
8. Dará inicio el ensayo, con un caudal bajo, aproximadamente la mitad o a un tercio del caudal máximo previsto, y se comenzará con el registro de niveles dinámicos en el punto de bombeo y en los puntos de observación. O bien, si se conoce el caudal máximo de explotación sin que el pozo quede vacío y la electrobomba tiene capacidad suficiente, se iniciará el ensayo con dicho caudal.
9. El escalón dará por finalizado una vez se establezca el nivel (paso de régimen transitorio a estacionario) o a las 1 o 2 horas de dar inicio. Llegado ese momento se dará paso al siguiente escalón (de caudal creciente) y se repetirá el proceso hasta completar 4 escalones.

10. Si no se realiza escalonado, el ensayo se dará por finalizado una vez haya estabilizado el nivel en el pozo y puntos de observación.
11. Si los niveles descienden de forma desproporcionada, se evaluará la posibilidad de anular el ensayo, esperar a la recuperación y dar inicio con un caudal más bajo.
12. Los datos de nivel se tomarán con alta frecuencia al inicio del escalón o al inicio del ensayo e irán espaciándose en el tiempo conforme avance cada uno de ellos. El registro de parámetros físico-químicos se realizará con una frecuencia menor.
13. Si el ensayo de bombeo se realiza a caudal de extracción continuo, se medirá periódicamente el nivel del agua para determinar las variaciones del mismo. Esto se repetirá hasta considerar la estabilización del nivel.
14. A régimen constante, se tendrán en cuenta las depresiones producidas en el pozo y en los puntos de observación como consecuencia del bombeo.
15. Una vez finalizado el ensayo (estabilizado el cuarto escalón o pasadas 1 o 2 horas tras el inicio de dicho escalón) tendrá lugar el ensayo de recuperación.
16. Durante el ensayo de recuperación se tomarán medidas de nivel con mayor frecuencia al inicio y con menor frecuencia al final, hasta que la recuperación se dé por finalizada.

Entre otras consideraciones a tener en cuenta si el régimen es escalonado, se tratará de que cada escalón tenga la misma duración, guardando cierta relación entre ellos. No conviene realizar escalones con caudales muy dispares, ya que puede pasarse de un régimen laminar a otro turbulento al aumentar excesivamente el caudal entre los mismos, lo que dificultaría enormemente la interpretación del ensayo posteriormente.

Conviene indicar la necesidad de un riguroso control de cada uno de los caudales, evitando oscilaciones en los mismos, así como extremar el cuidado para que las mediciones de niveles sean lo más correctas posibles.

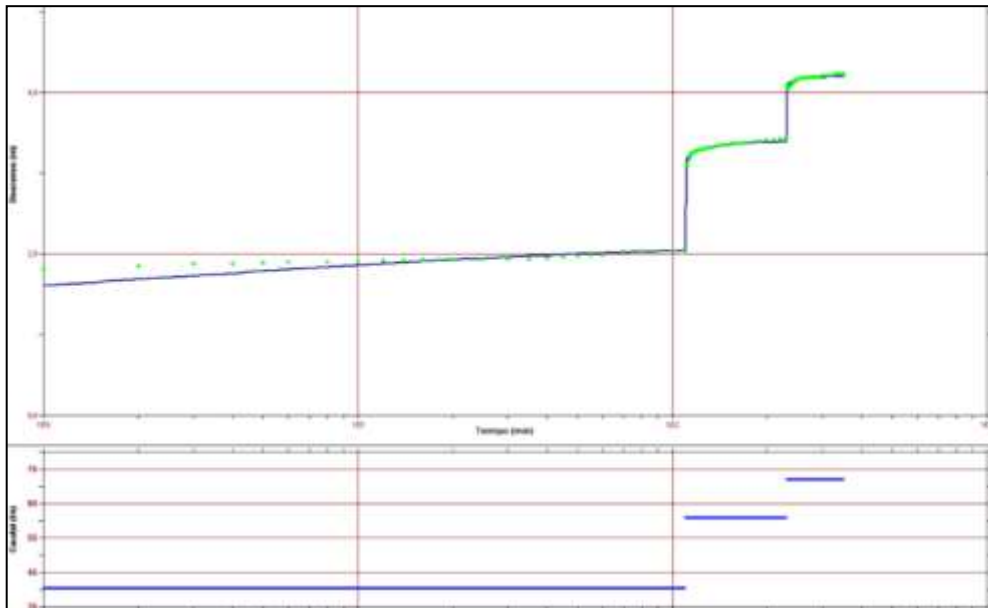
Una vez realizado el ensayo se realizará una interpretación del mismo para la obtención de los parámetros hidráulicos del área ensayada.

Para llevar a cabo la interpretación de los ensayos se realizará un ajuste mediante la aplicación PIBE 3.0, a partir de la cual se obtendrán datos de transmisividad (T), coeficiente de almacenamiento y/ o porosidad (S), coeficiente de goteo (B), etc., de los cuales se podrán obtener de forma derivada, una vez definida la geometría del acuífero, la permeabilidad (K) y el radio de influencia (R).

Esta aplicación reproduce una curva de descensos teórica y la ajusta en sucesivas iteraciones a la experimental, mostrando finalmente el resultado, como se muestra en la siguiente figura. Los puntos

verdes son los datos experimentales y la línea continua azul la calculada. En la parte inferior se muestran los caudales de bombeo.

El programa considerará, igualmente, la posibilidad de aportación de agua desde niveles de reducida permeabilidad (acuitardos) en función del potencial hidráulico, por lo que se procederá también a su estudio. En dicho programa se pueden incorporar también los datos registrados en los puntos de observación, de manera que la interpretación sea más precisa.



### 3.9. CAMPAÑAS DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Realización de una campaña de muestreo y análisis de las aguas subterráneas de las masas de agua donde se analicen:

- Elementos mayoritarios
- Metales (algunas muestras)
- Plaguicidas, hidrocarburos, emergentes (algunas muestras)

Las campañas de calidad de las aguas se realizarán de la siguiente forma:

1. Inicialmente, se realizará un reconocimiento del terreno y una planificación del muestreo.

En base a las observaciones de campo y teniendo en cuenta las posibles limitaciones de la toma de muestras (ubicación, circulación de agua superficial, existencia de pozos que capten el aluvial o subálveo, etc.) se realizará un tipo de planificación y otra, adaptándola a las posibilidades.



2. Ejecución de la toma de muestras. Cuya forma, método y número serán las que hayan sido definidas en la fase anterior.

Durante ambas visitas a terreno, se realizará una identificación de posibles focos de contaminación puntual (vertidos, ubicación de depósitos de residuos, granjas, etc.) de forma que sean cartografiadas y sirvan de posterior análisis junto con los resultados de laboratorio.

De forma tentativa, suponiendo la posibilidad de muestreo de agua superficial, se estima que podrían ser tomadas unas 30 muestras.

Una vez realizada la toma de muestras, ya sean de tipo superficial como subterránea (aluvial y/o subálveo), estas serán codificadas y enviadas al laboratorio.

Los parámetros a analizar serán:

- Parámetros in-situ: Temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>).
- Análisis en laboratorio:
  - o Mayoritarios: cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio y sílice.
  - o Adicionales: amonio, boro, DBO<sub>5</sub>, DQO, fluoruros, fosfatos, hidrocarburos disueltos o emulsionados, nitratos y nitritos.
  - o o Metales: arsénico, cadmio, boro, cobre, cromo, hierro y manganeso.

Estos parámetros se han determinado de forma tentativa con la intención de, en primer lugar, caracterizar la composición química mayoritaria y establecer el tipo de facies, por otro lado, para analizar la presencia de metales contaminantes, la presencia de materia orgánica, hidrocarburos, nitratos y derivados.

En el caso de que se requiera estudiar la presencia de algún parámetro más, este será añadido a la lista de análisis a realizar y de igual forma, si se considera innecesario, previo consenso, se eliminarán de las analíticas a realizar aquellos parámetros que sean acordados.

### 3.10. **SEGURIDAD Y SALUD.**

La actividad se desarrollará siempre bajo el estricto cumplimiento de todas aquellas normas y estándares medioambientales, laborales y de seguridad/ salud ocupacional vigentes en la actualidad.

La CUAS o las empresas de servicios o autónomos que ejecuten los trabajos definidos en el presente



Convenio deberán redactar un plan de seguridad y salud específico para para tal fin, el cual será redactado con anterioridad al inicio de los trabajos, cuyo coste está incluido en la dotación presupuestaria del presente Convenio.

Así mismo, con anterioridad al inicio de los trabajos se deberá hacer la Apertura del Centro de Trabajo. Lo realizará la CUAS o las empresas de servicios o autónomos que ejecuten los trabajos definidos en el presente Convenio, cuyo coste está incluido en la dotación presupuestaria del presente Convenio.

### Prevención de Riesgos Laborales

El personal propio de las CUAS, prestadores de servicios y personal autónomo que de él dependan que pueda intervenir en los trabajos se obligarán al más estricto cumplimiento de todas las leyes y disposiciones de ámbito local, autonómico, estatal o europeo en materia social, de seguridad industrial, laboral y de seguridad y salud en el trabajo. De igual modo deberá disponer de todas las medidas de protección y señalización que garanticen la seguridad del personal que participe en los trabajos.

Las empresas prestadoras de servicios tendrán que aportar, con anterioridad al inicio de los trabajos, la siguiente documentación de prevención de riesgos laborales:

- Modelo de organización preventiva que tiene implantado la empresa prestadora de servicios según lo dispuesto en el Reglamento de los Servicios de Prevención (RD 39/97). Igualmente indicará la persona o personas designadas ante la CUAS para actuar como interlocutores en la gestión de todo lo referente a PRL.
- Evaluación de riesgos generales y específicos asociados a la actividad a desempeñar.
- Medidas preventivas generales y específicas ante dichos riesgos.
- Lista de trabajadores que van a realizar los servicios.
- Nombramiento de los Recursos Preventivos que estarán presentes en aquellas tareas de riesgo que le apliquen. Se acreditará la formación específica de los mismos según lo dispuesto en la Ley 54/2003.
- Certificado de haber informado a todos sus trabajadores de los riesgos y medidas preventivas que apliquen a los trabajos.
- Póliza de seguro de responsabilidad Civil y justificante de pago.
- Certificados de formación en materia de Seguridad y Salud de los trabajadores.
- Registro de entrega de los equipos de protección individual a los trabajadores.





- Certificados de aptitud médica de los trabajadores.
- Mutua de Accidentes de Trabajo y EP con la que tiene cubierta la prestación.
- Plan de emergencia a aplicar en la actividad objeto del contrato.

#### Obligaciones ambientales

Los residuos que se generen derivados de los trabajos objeto del presente documento, serán gestionados de acuerdo con la legislación medioambiental vigente, quedando expresamente prohibido que ningún residuo quede alojado en las zonas de trabajo. Para ello, tanto la CUAS como las empresas prestadoras de servicios realizarán una separación adecuada de residuos y los llevará a un gestor autorizado de residuos respetando la legislación medioambiental vigente.

Además, durante la realización de los trabajos, la zona de trabajo deberá permanecer en todo momento bien señalizada y ordenada. Finalmente, tras la realización de los trabajos, es obligación expresa de los trabajadores dejar la zona de trabajo perfectamente limpia, tal y como se la encontró al inicio de los trabajos. Para ello, estará obligado a llevar consigo en cada intervención sus propios útiles de limpieza que precise.

En el caso que se utilicen productos químicos para el desarrollo del servicio estos deberán ser respetuosos con el Medio Ambiente ajustándose a una gestión adecuada para este tipo de productos, que atienda a los principios del Desarrollo Sostenible y al mejoramiento de la calidad ambiental.

#### Trámites y permisos

La realización y costes derivados de trámites o solicitud de permisos a los organismos competentes, visados colegiales y demás tasas administrativas son a cargo de la CUAS.

#### **4. DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR**

El trabajo final estará conformado por la siguiente documentación, la cual será propiedad de los firmantes del presente Convenio :

- Informes parciales de avance de los trabajos
- Informe final de los trabajos realizados
- Modelo numérico en formato editable
- Estaciones meteorológicas instaladas



## **5. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS.**

Los trabajos propuestos se realizarán en un plazo de DOCE (12) MESES contados desde la firma del presente Convenio.