

## **DEFINICIÓN MEDIANTE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA CON SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS QUE PUEDEN FUNCIONAR COMO ACUÍFEROS EXPLOTABLES**

**Francisco MERCHÁN \*, Mariano HIGUERAS \*, José Antonio ABEJER \* Manuel ESPEJO\*\*  
(\* OCSA, (\*) Gabinete Minero TEY, (\*\*\*)**

**Palabras clave:** Acuífero, Hidrogeología, Prospección Geofísica, Sísmica de Reflexión.

### **RESUMEN.**

En esta comunicación se pretende mostrar la utilidad de la Prospección Geofísica mediante **Sísmica de Reflexión de Alta Resolución** para la definición de estructuras geológicas favorables para su explotación como acuíferos.

También se hace frente a un problema, muy frecuente en hidrogeología, como es la localización de acuíferos profundos asociados a zonas de fracturación.

### **INTRODUCCIÓN.**

En una zona concreta de la Serranía de Cuenca, se trataba de localizar un emplazamiento adecuado para un sondeo con objeto de obtener agua mineral natural.

Esta zona presentaba la gran ventaja de estar casi virgen de actividad humana, con lo cual el peligro de contaminación quedaba prácticamente descartado, sin embargo presentaba el grave inconveniente de ser un área muy protegida ambientalmente, lo que limitaba en sumo grado las actividades de investigación.

### **SITUACIÓN GEOGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA.**

El área objeto de estudio está situada en el extremo NE de la provincia de Cuenca, en plena Serranía, en la vertiente occidental de la Sierra de Valdeminguete. Caracteriza a esta sierra su fuerte relieve y la práctica ausencia de carreteras o caminos que la atraviesen salvo la CU 9161.

Pertenece a la Cuenca del Júcar, y dentro de ella al Sistema 18, Mesozoico del flanco oriental de la Ibérica y más concretamente a la unidad “Zafrilla” que constituye el extremo norte del Sistema.

Los recursos del acuífero de Zafrilla superan los 32Hm<sup>3</sup>/año.

La unidad Zafrilla es una alineación montañosa de orientación NO-SE. de carácter esencialmente calizo y limitada por el oeste por los materiales impermeables del Keuper.

La estructura general responde al flanco oriental de un gran anticlinal, en cuyo núcleo afloran los materiales triásicos, los cuales constituyen el límite por el oeste de la unidad Zafrilla.

Esta serie monoclinal grosso modo, está afectada por fallas transversales de orientaciones preferentes N60°E E-W, y N40°W.

Existen dos grandes acuíferos de tipo kárstico: el Jurásico y el Cretácico, separados por las arcillas y arenas del Aptense- Albiense, sin embargo no existe una separación absoluta entre ambos acuíferos ya que las fallas transversales permiten la comunicación entre ellos.

La alimentación se realiza por la precipitación ya sea en forma de lluvia ya en forma de nieve, alcanzándose un promedio anual superior a los 900mm.

La descarga se realiza básicamente en el contacto entre el Jurásico basal y el Keuper así como por el drenaje de los arroyos que atraviesan la sierra de Valdeminguete con dirección próxima a Noreste –Suroeste, normalmente a favor de fracturas.

La geología concreta del área estudiada, se muestra en la Figura 1, tomada del Magna 1:50.000, con las siguientes atribuciones:

**7 Margas yesíferas del Keuper.** De gran importancia porque constituyen la base impermeable de los materiales suprayacentes y cuya potencia puede superar los 120m.

**8 Carniolas Rhetienses.** Constituyen los materiales de transición del Trías al Jurásico. En la base aparecen dolomías tableadas distribuidas en bancos decimétricos; su potencia aquí es de 10 m como máximo. Buzan claramente 80° a 85° hacia el este.

Las carniolas dan lugar a un fuerte resalte topográfico, presentan una potencia del orden de 70 m .Son materiales con elevada permeabilidad, tanto por porosidad como por fisuración.

**9 Dolomías del Pliensbaquiense.** Sobre las carniolas reposa una potente serie de carácter dolomítico, cuya potencia puede rebasar los 140 m y que junto con las carniolas constituyen el acuífero jurásico.

**11 Margas y caliza del Toarciense.** Afloran con pequeña extensión. Son margas grises alternando con caliza cuya potencia total es de 30 m como máximo.

**16 Arcillas, arenas y areniscas del Aptiense-Albiense, facies Weald.** Constituyen un paquete de hasta 120 m de espesor.

**18 Arenas caoliníferas, gravas y arcillas del Albéense , facies Utrillas.** Su potencia puede llegar a los 90 metros.

**21 Calizas, dolomías y areniscas calcáreas del Cenomanense – Turonense.** Constituyen una serie permeable que supera los 80m de potencia y que son la base del último tramo potente de carácter calizo del Cretácico.

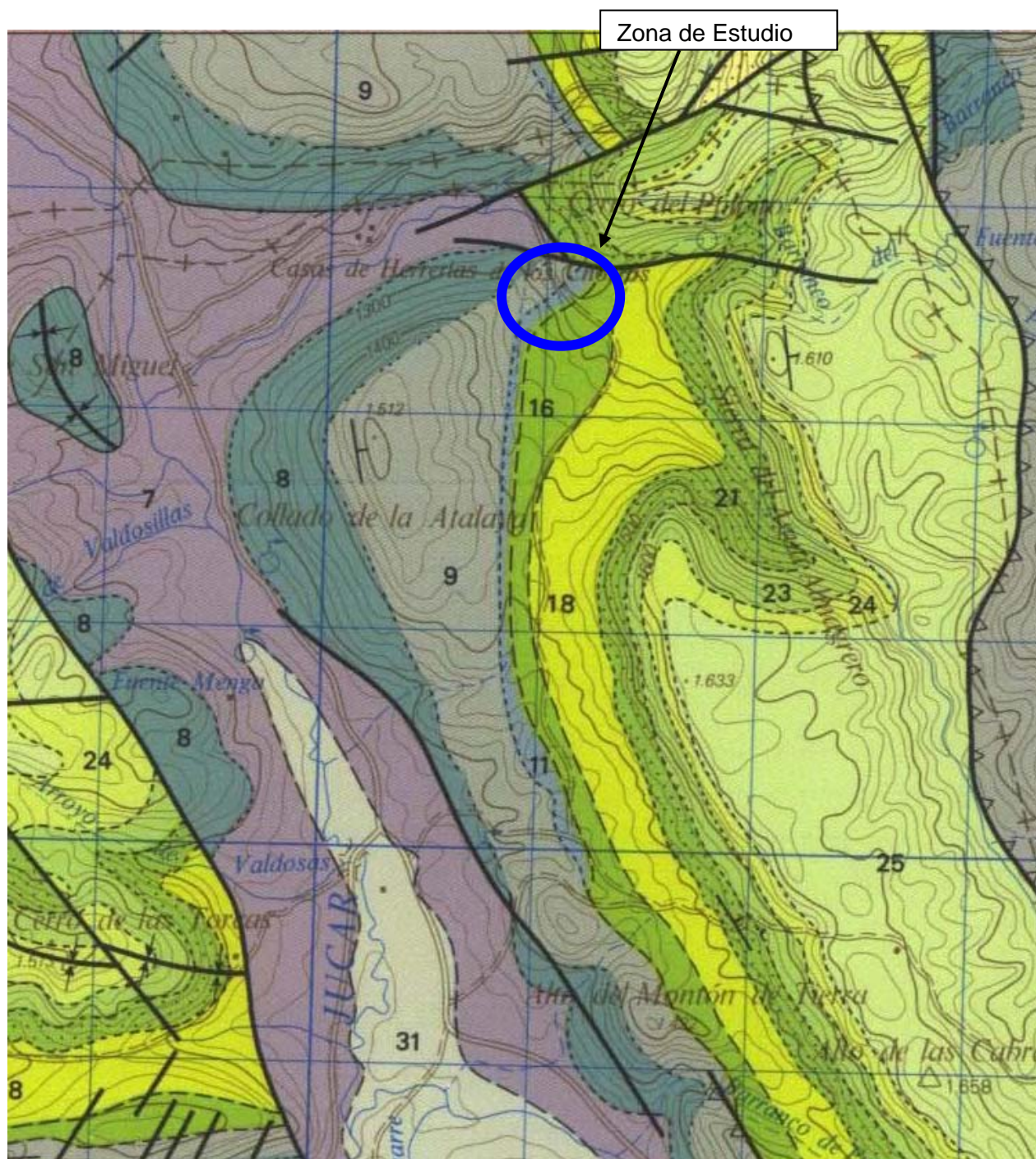


Figura 1: Cartografía geológica 1:50000

**23 Dolomías y carniolas del Turoniense superior.** Constituyen un fuerte resalte topográfico, típico de la Serranía de Cuenca con un espesor superior a los 200 m.

**24 Dolomías del Turoniense-Coniaciense.** Son calizodolomías, relativamente sanas, contrastando con los tramos supra e infrayacentes. Se estima aquí su potencia en 50 a 60 m.

**25 Dolomías calizas dolomíticas y brechas del Coniaciense –Campaniense,** Constituyen aquí el techo del Cretácico y se estima su potencia en más de 300 m.



**9 Aluviales.** Rellenan los fondos de los valles, alcanzando su máximo desarrollo en la confluencia de los ríos Júcar y Valdemeca.

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO A REALIZAR.

De los apartados anteriores se deduce claramente que la zona a estudiar es geológicamente compleja.

Los reconocimientos realizados, condujeron a la selección de un enclave relativamente llano, con acceso en el que podría perforarse un sondeo con el objetivo de alcanzar el Jurásico.

La situación de la zona se indica en la Figura 2. El emplazamiento se sitúa sobre una pequeña llanura recubierta de tobas y aluviales posiblemente sobre arenas del Aptense –Albiense.

El problema que se planteaba era determinar la profundidad a que se encontraba el Jurásico, así como su distribución espacial, para decidir si era viable económicamente la perforación de un sondeo.

En dicha zona ya existía un sondeo de 50 m de profundidad que no había pasado del Albiense y era negativo desde el punto de vista hidrogeológico.

De modo esquemático, en el croquis de la Figura 3, se muestra la hipótesis estructural que habría que definir con una campaña de geofísica. Se trataba de ver cómo se hundía realmente el Jurásico bajo las arenas del Aptense-Albiense.

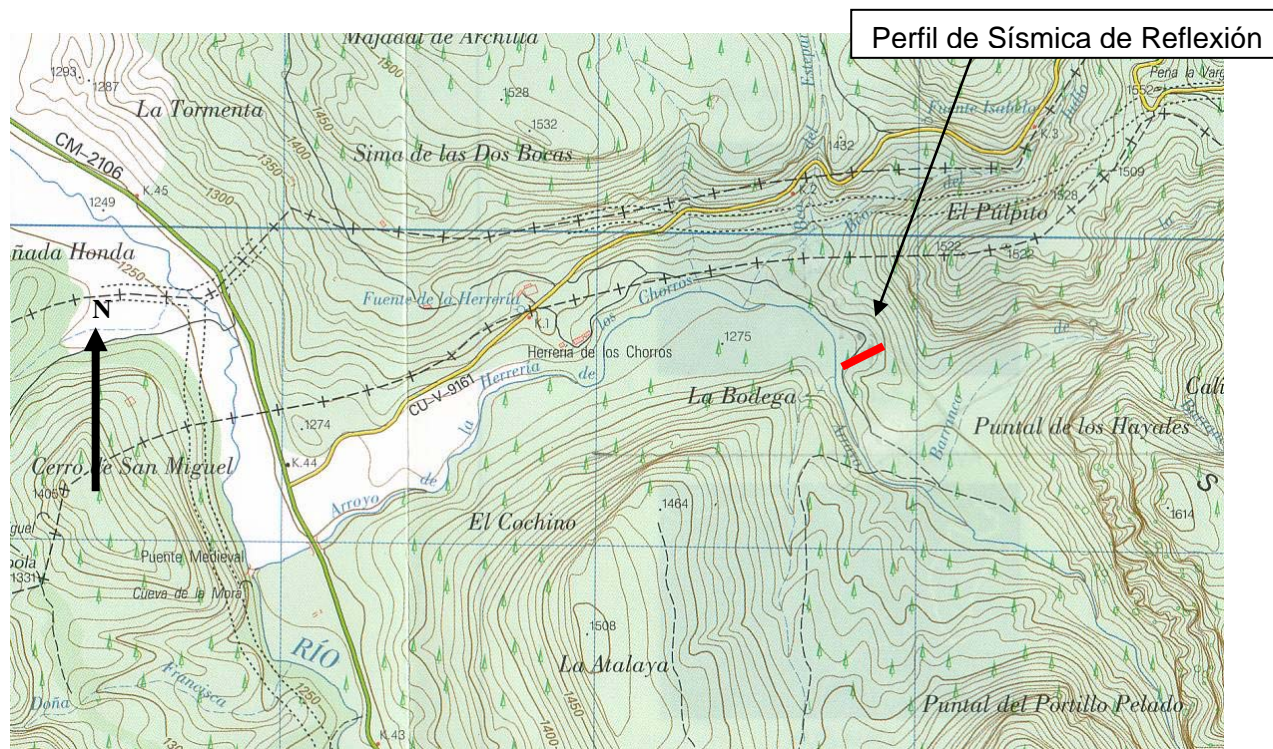


Figura 2: Plano de situación.

Dada la complejidad de la zona, se decidió que el método de Prospección Geofísica que mejor podía resolver el problema planteado era la realización de un perfil de **Sísmica de Reflexión de Alta Resolución**. Se trataba no solo de determinar a que profundidad se encontraba el Jurásico, sino definir la estructura general de la zona en profundidad con los sistemas de fallas asociados.

En el plano de situación adjunto se señala el emplazamiento de dicho perfil. Dado el escaso espacio disponible el dispositivo a utilizar tiene características especiales, como se describirá en los párrafos siguientes.

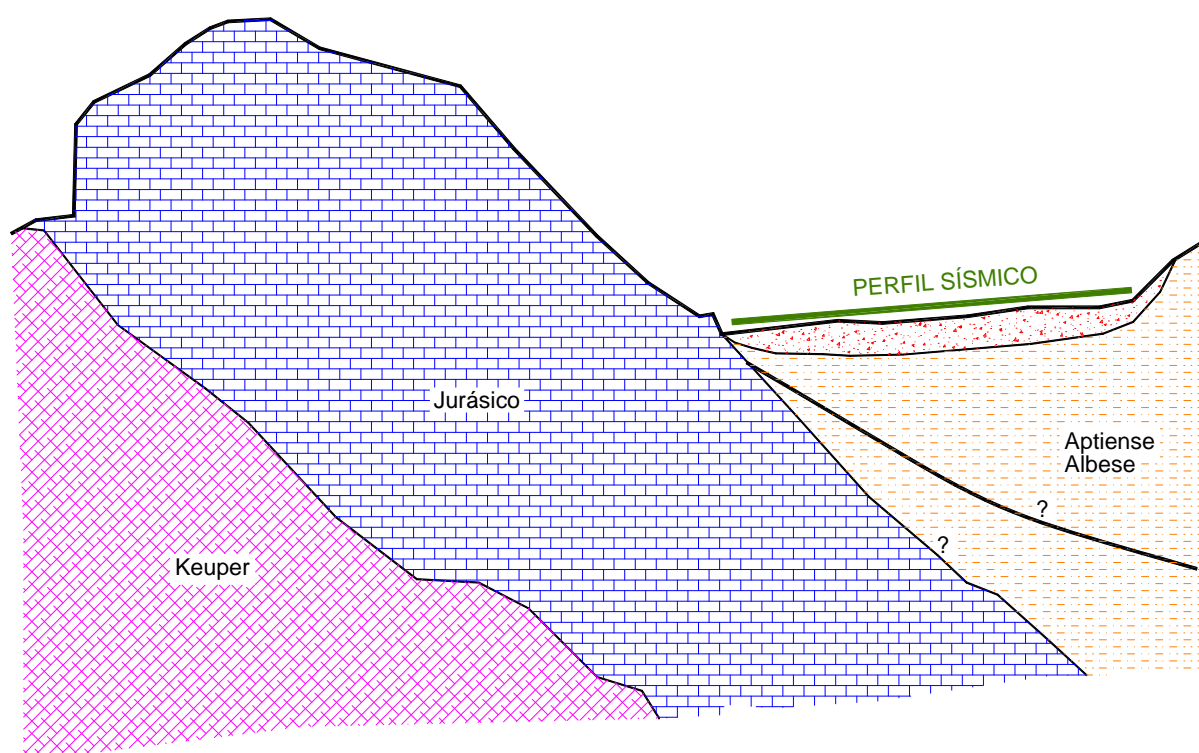


Figura 3: Esquema geológico.

## PROSPECCIÓN GEOFÍSICA. SÍSMICA DE REFLEXIÓN.

### Parámetros y técnicas de registro.

Se efectuaron diversos ensayos de campo: test de ruido, filtros, ganancias, etc., con el fin de definir los parámetros y la técnica de registro más idónea en función de los objetivos trazados para el trabajo. A la vista de las frecuencias aparentes, medidas sobre los registros obtenidos, las bandas de energía reflejadas que se detectaban, los tiempos a los que se obtenían y las velocidades de propagación medias estimadas, se optó por la utilización de los siguientes parámetros de registro:

- una intertraza en superficie de 3 m.
- un filtro de baja abierto.

- un filtro de alta de 250 Hz.
- un valor de AGC de 400.
- 6-7 golpes de martillo, como fuente de energía, por registro.

Se empleó el dispositivo de registro representado en la Lámina 1, con la intertraza, en superficie, antes señalada de 3 m, disparándose en un sistema “roll-along” sobre las 48 trazas, con lo que la intertraza resultante fue de 1,5 m, disparándose a su vez desde el principio al final del perfil a 1,5 y 3 m sobre el mismo dispositivo de registro de 69 m y 24 trazas, realizándose por tanto 4 registros por posición (extendimiento) con lo que se consigue una intertraza en subsuperficie de 0,75 m.

Así pues, los parámetros utilizados fueron los siguientes:

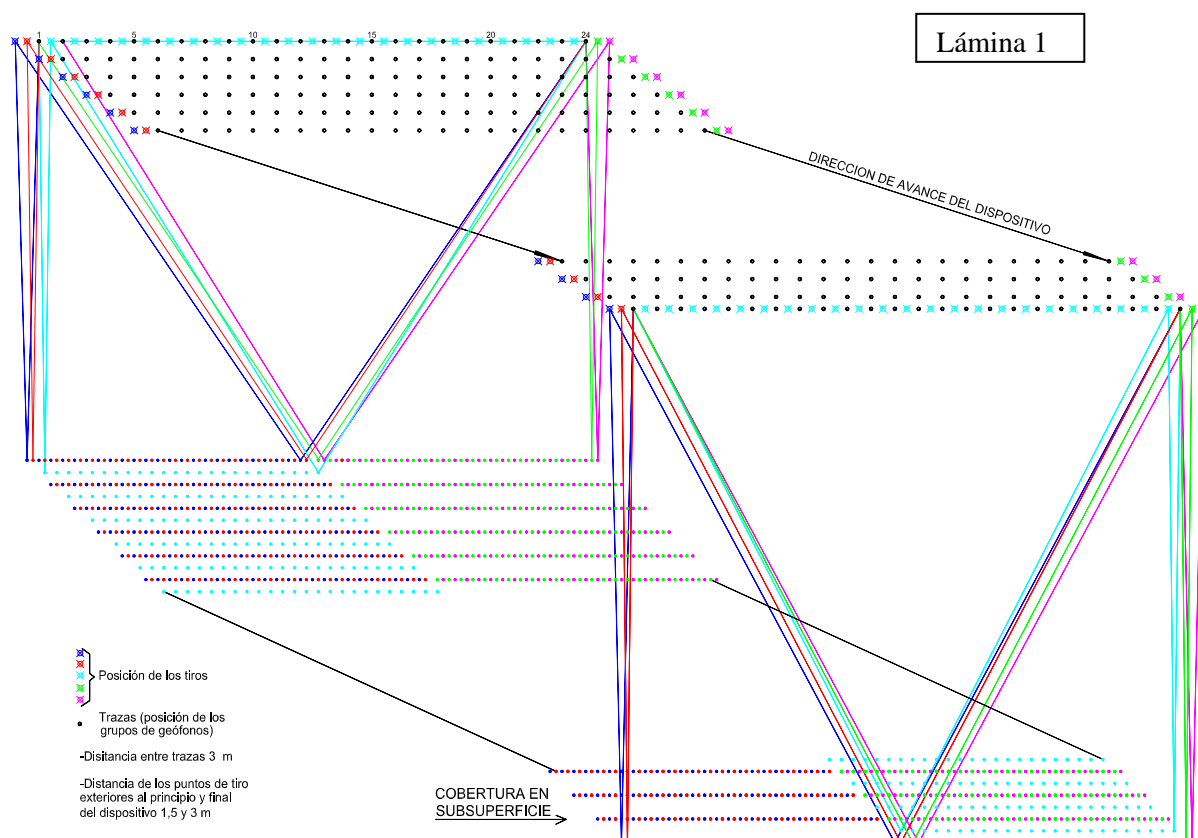
#### Registro:

- Muestreo: 0,125 ms. Delay: 0. Filtro de baja: abierto. Filtro de alta: 250 Hz.
- I.F.P: Instantaneous Floating Point. Tiempo de registro: 0,760 segundo

#### Dispositivo:

- Número de trazas: 24. Distancia entre trazas: 3 m. Offset: 1,5 y 3 m. Cobertura: 2400 % (24) .
- Geófonos/traza: 2 de varias frecuencias.

Con las configuraciones descritas se ha realizado un perfil compuesto por 48 trazas separadas entre sí 3 m, lo que supone una longitud efectiva de 144 m de perfil. Su emplazamiento ya se ha indicado en el plano de situación correspondiente



### **Procesado e Interpretación**

Una vez registrado el perfil se procesó con el paquete de software FOCUS de Paradigm Geophysical, utilizando las mismas técnicas de procesamiento que se emplean en la exploración de hidrocarburos. El procesamiento ha consistido en los siguientes pasos:

- a) Edición** (control de calidad de cada registro de campo).
- b) Preprocesado:** En este paso se realiza la explotación de la refracción superficial empleando extendimientos de distintas posiciones de registro, solapadas entre ellas para definir con mayor precisión las capas superficiales y poder realizar unas correcciones estáticas de alta resolución.
- c) Recuperación de amplitudes** (recuperación de los verdaderos valores de la amplitud).
- d) Colección de trazas** (clasificación de las trazas por punto espejo).
- e) Análisis de frecuencias** (análisis de los datos en F y K).
- f) Deconvolución**, para eliminar la reverberación mediante un operador de blanqueo.
- g) Análisis de velocidad**, se realizan varios análisis de velocidad sobre cada perfil (1 cada 60 m mínimo).
- h) Correcciones dinámicas** (NMO) y mute, se aplican las correcciones dinámicas calculadas de los análisis de velocidad y se aplican los “mute” para eliminar las llegadas refractadas y de superficie.
- i) Correcciones estáticas**, se aplican las correcciones estáticas obtenidas de la explotación de la refracción.
- j) Suma de las trazas** agrupadas en posición espejo.
- k) Empleo de un filtro F-K** para mejorar la coherencia.
- l) Aplicación de un filtro variable en el tiempo** para mejorar la relación señal/ruido.
- m) Balanceo** para determinar el máximo de la amplitud y evitar las saturaciones en cada una de las trazas.
- n) Obtención de la sección stack** correspondiente.
- o) Aplicación de una migración en FX a la sección stack.**
- p) Utilización de un filtro variable en el tiempo** para mejorar la relación señal/ruido.
- q) Un segundo balanceo** se aplica para igualizar la energía de las trazas a lo largo del tiempo.
- r) Ploteado de la sección migrada.**

### **Resultados**

En la figura 4 se muestra la sección migrada del perfil realizado, donde puede observarse el resultado final del procesamiento comentado.



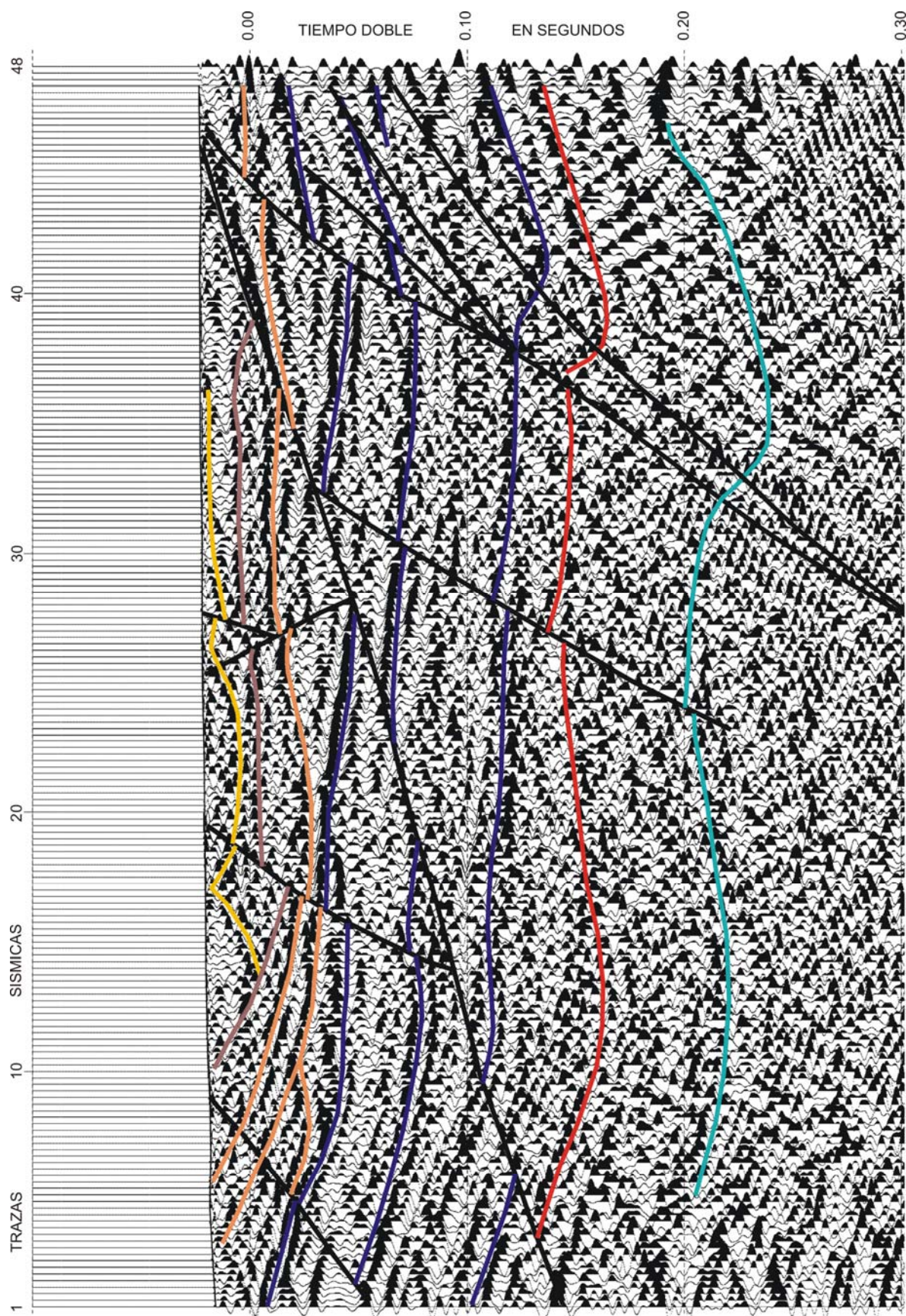


Figura 4: Sección Migrada con su interpretación



Los rasgos fundamentales sobre los que descansa la interpretación de una sección sísmica de reflexión, a la hora de definir los horizontes (elementos de las mismas características sísmicas) que componen una sección son: la intensidad de las reflexiones, la frecuencia, el “carácter sísmico” (forma de la onda), continuidad espacial y, por último, la velocidad.

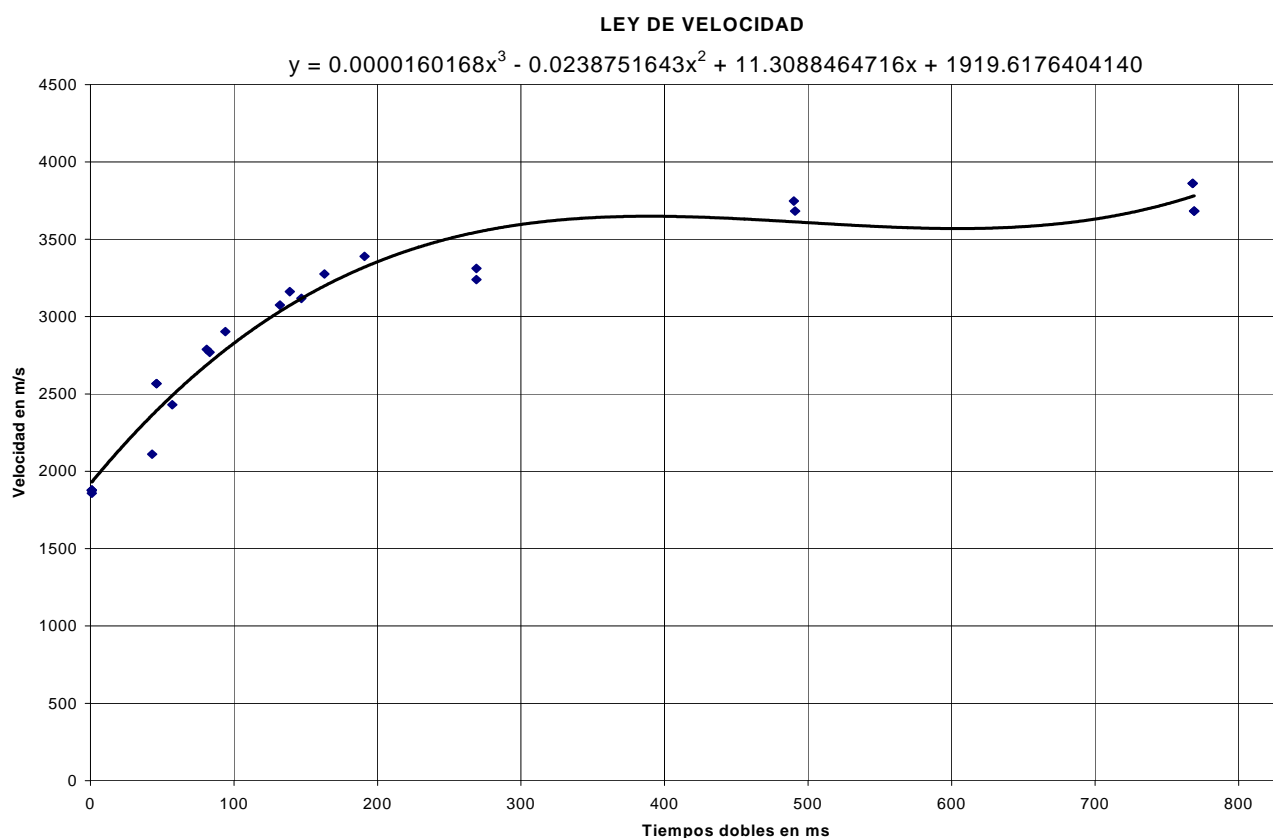
Los saltos de continuidad de las reflexiones nos han permitido dibujar las fallas que afectan al conjunto.

Resumidamente tenemos:

- Entre la superficie y el primero de los horizontes azules (azul 1) aparecen una serie de reflexiones que vendrían determinadas por la geometría de los sedimentos del Cretácico Inferior con posibles erosiones internas y estratificaciones cruzadas (véase reflexiones marrones situadas entre las trazas 1 y 16).
- El primer horizonte azul, es el que más amplitud presenta en la reflexión, lo que indica un cambio de impedancia acústica importante, esto podría ser indicativo del inicio de las calizas jurásicas.
- El segundo horizonte azul (azul 2) presenta un cambio de impedancia inferior al correspondiente al primer horizonte azul (azul 1) entre el Albiense y el Jurásico. Debe corresponder a un segundo nivel de calizas y/o conchuelas jurásicas.
- El tercer horizonte azul (azul 3), en este caso, debía representar la base de las calizas Jurásicas en función de los espesores estimados.
- En este caso, este horizonte representaría el techo de las dolomías basales del Jurásico, cuya base estaría representada por el horizonte rojo, el cual podría ser el techo de una serie triásica?.
- La última reflexión representada en celeste, representaría el techo del zócalo acústico o lo que es lo mismo la base de los datos interpretables obtenidos por sísmicas de reflexión.

La interpretación de estos horizontes nos lleva a un esquema tectónico en el cual existe un primer accidente en compresión?, conjunto de fallas localizadas entre las trazas 32 y 48, y una falla distensiva, más moderna en el tiempo, que supone el principal elemento tectónico de la sección, y que la atraviesa desde la traza 45 a 1, buzando hacia el suroeste.

Para la transformación de la sección migrada a profundidades se ha utilizado la **ley de velocidades** adjunta, obtenida del conjunto de leyes parciales que se van obteniendo en el procesado de la sección sísmica.

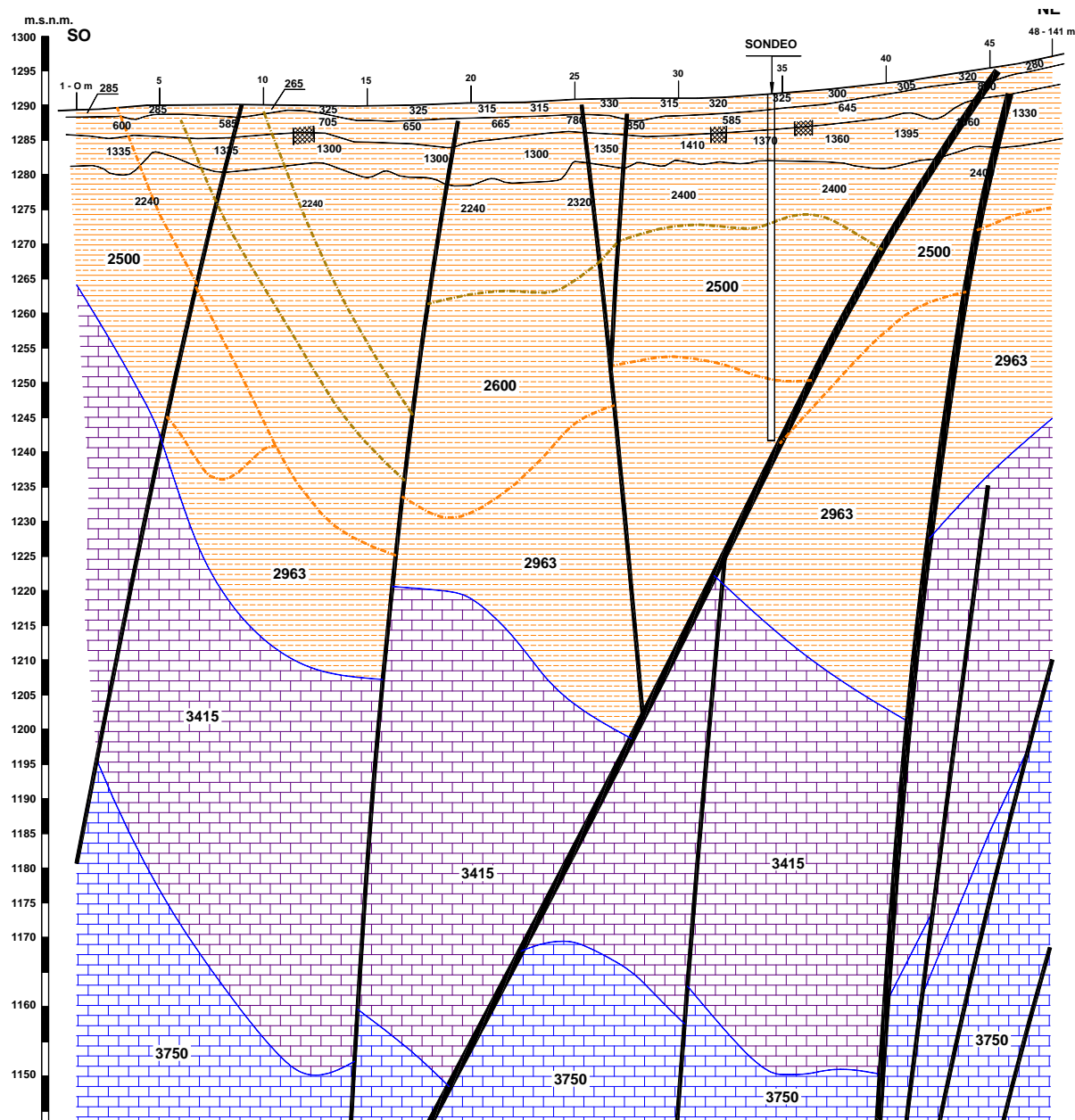


Así se ha obtenido el corte sísmico representado en la Figura 5. En la figura 6 se muestra la parte superior del mismo corte de forma más detallada, incluyendo los resultados de la refracción superficial.

En dichos planos se representan las distintas capas sísmicas detectadas con sus correspondientes velocidades, así como el conjunto de fallas que las afectan, siendo más importantes éstas según su grosor. Se incluye una posible atribución litológica de los horizontes sísmicos a partir de los datos geológicos disponibles como ya se ha comentado en los párrafos anteriores.







#### SISMICA DE REFRACCION SUPERFICIAL

- Velocidad en m/s.
- Zona mas dura:
- Suelos y zona de alteración.

#### SISMICA DE REFLEXION

- Trazas sísmicas
- Velocidad media de capa en m/s.
- Superficies internas de reflexión
- Fallas y/o fracturas con mayor o menor importancia de acuerdo con su grosor

#### POSIBLE ATRIBUCION GEOLOGICA

- ARENAS Y ARCILLAS CAOLINÍFERAS DEL ALBENSE.
- CALIZAS DEL JURÁSICO.
- CALIZAS (¿Y CARNIOLAS?) DEL JURÁSICO.
- ¿DOLOMÍAS BASALES?. JURÁSICO.
- TRÍAS
- ZÓCALO ACÚSTICO.

Figura 6: Detalle del Corte Geosísmico obtenido.

## **CAPTACIÓN REALIZADA.**

De acuerdo con los resultados obtenidos, las calizas del techo del Jurásico, que constituyen el principal acuífero de la región, deben encontrarse a una profundidad de 90 a 100m, en la pequeña llanura estudiada.

En concordancia con estos datos se planificó la realización de una captación en el entorno de la traza 25, de unos 150 m de profundidad con objeto de entrar claramente en el acuífero jurásico y cortar la falla que arranca de la traza 45 con un buzamiento de unos 60 grados SO.

El sondeo se inició perforando con diámetro de 220 mm llegándose hasta los 88 m de profundidad, pero al tocar el techo de las calizas comenzaron a derrumbarse las arenas superiores del Albiense, lo que obligó a reperforar el sondeo. Hasta los 88 m no se cortó ningún nivel acuífero.

Se inició una reperforación en 550 mm, hasta 9 metros de profundidad, colocándose seguidamente tubería ciega de acero de 500 mm.

A continuación se reperforó en 450 mm hasta 19m de profundidad y se entubó con tubería ciega de 400mm.

Una vez asegurada la parte superior, se reperforó en 400 mm hasta 65 m de profundidad, entubándose a continuación con tubería de 320mm.

Se reperforó el sondeo hasta los 88m iniciales con 312 mm y se continuó la perforación hasta el metro 110, momento en el que hubo que parar pues era tal la cantidad de agua con lodo que surgía al “soplar” para limpiar el sondeo, que estuvo a punto de reventar las balsas de lodos que impedían el vertido a los arroyos del entorno.

La columna litológica del sondeo fue:

- 0.0 a 3.0 m Suelo sobre tobas calcáreas.
- 3.0 a 12.0 m Arenas con intercalaciones de gravas silíceas del Albiense
- 12.0 a 14.0 m Arcillas azuladas y arenas albienses.
- 14.0 a 83.0 m Arenas, gravas y cantos con intercalaciones arcillosas, Albienses.
- 83.0 a 86.0 m Calizas de tonos rosados algo margosas, techo del Jurásico.
- 86.0 a 98.0 m Calizas dolomíticas de tonos grises . Jurásico
- 98.0 a 107.0 m Calizas de tonos rosados, de aspecto carniolar, con frecuentes cavidades milimétricas. Jurásico.
- 107.0 a 110.0 m Calizas y carniolas de color gris con abundantes oquedades, muy fisuradas, que aportan mucha agua. Jurásico.

Los caudales obtenidos son de 20 l/s.



## CONCLUSIONES.

De la exposición realizada podemos concluir que la técnica geofísica empleada, denominada **Sísmica de reflexión de alta resolución** (no destructiva al no emplearse explosivos) permite una definición muy notable, en profundidad, de la geometría de posibles acuíferos, hasta profundidades del orden de los 500 m.

En el caso que nos ha ocupado, el grado de coincidencia entre el Corte Geosísmico obtenido y las captación realizada es muy bueno. El techo de las calizas se ha detectado de forma precisa y el tramo de mayor aporte de agua (107-110 m de profundidad) coincide con el paso de una importante fractura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- G. Henry. 1997. La Sismique réflexion, Principes et développements. Editions Technip.
- Hidrología Subterránea de Emilio Custodio. Ediciones Omega..
- F. Merchán – M. Higuera. 2001. Sísmica de Reflexión de Alta Resolución aplicada a la ingeniería de túneles. Ingeo Túneles, Serie: Ingeniería de túneles, Libro 4. Capítulo I:
- F. Merchán, J.A. Canas, L.G. Pujades. 2002. Seismic reflection survey for rock massifs characterization. Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica.
- IGME Mapa Geológico de España 1:50.000 n° 588 Zafrilla.