



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

**DEPARTAMENTO DE
TRANSPORTES Y OBRAS PUBLICAS**
Dirección de Aguas

**CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE PRODUCCION
DEL SONDEO ZIKUJANO-B**

Enero 2000



EVE

**CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE PRODUCCION
DEL SONDEO ZIKUJANO-B**

Enero 2000

INDICE

Pág.

1.- INTRODUCCION - ANTECEDENTES.....	2
2.- OBJETIVOS Y EMPLAZAMIENTO.....	2
3.- GEOLOGIA. HIDROGEOLOGIA.....	3
3.1.- Estratigrafía.....	3
3.2.- Tectónica.....	3
3.3.- Hidrogeología.....	3
4.-SONDEO DE EXPLOTACION ZIKUJANO-B.....	4
4.1.- Equipo de perforación y desarrollo de los trabajos.....	4
4.2.- Características técnicas del sondeo.....	4
4.3.- Columna litológica. Aportes de agua.....	6
4.4.- 1ª Prueba de producción.....	7
4.5.- Inspección Endoscópica. Diagrafías.....	11
4.6.- Desarrollo del sondeo	19
4.7.- 2ª Prueba de producción.....	21
5.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	25

ANEXOS

- A.1. - Pruebas de producción en el sondeo ZIKUJANO-B
- A.2. - Inspección endoscópica y diagrafías en el sondeo ZIKUJANO-B

1.- INTRODUCCION - ANTECEDENTES

En el año 1990, en el marco de las actuaciones que se realizan con objeto de obtener recursos adicionales para el abastecimiento de los núcleos dependientes del sistema Zadorra, ante la sequía y restricciones que padecen, el EVE realiza un sondeo de explotación en el flanco Sur del sinclinal de Urbasa en terrenos de Zikujano, T.M. de Maeztu.

Los resultados de este sondeo, denominado ZIKUJANO-A, con un caudal bombeado de 70 l/s, conducen a extender la investigación a áreas más alejadas del borde del diapiro de Maeztu y en las cuales no se atraviesen las arenas de La Minoria, evitando los problemas de arrastres que estas han generado en el primer sondeo.

El sondeo de investigación Zikujano 2, perforado igualmente en 1990, está situado al ENE de Zikujano-A, al Norte del núcleo de población del mismo nombre. Alcanza una profundidad de 273 m y finaliza en los microconglomerados del Maastrichtiense, situados a muro del acuífero objetivo, consituido por las dolomías Thanetienses. La serie atravesada se presenta muy fracturada y con señales de karstificación, lo que permite recomendar la construcción de un segundo sondeo de explotación, en las proximidades del piezómetro. Esta obra figura en el Catálogo de Actuaciones en Aguas Subterráneas, elaborado en Julio de 1997 en el marco del convenio "Programas de Actuación en Aguas Subterráneas", suscrito entre el Departamento de Obras Públicas y Transportes del Gobierno Vasco y el Ente Vasco de la Energía.

Como parte integrante de las actuaciones contempladas en el citado convenio, se retoman en 1998 las actuaciones acometidas hasta 1990 mediante la construcción del sondeo ZIKUJANO-B.

Una vez finalizados los trabajos de perforación, acondicionamiento del sondeo y prueba de producción, se ha realizado el presente Informe Técnico en el que se recoge el desarrollo de los trabajos así como los resultados obtenidos.

2.- OBJETIVOS Y EMPLAZAMIENTO

El sondeo ZIKUJANO-B, se perfora en las inmediaciones del sondeo piezométrico Zikujano-2. Con este sondeo se pretende, por un lado, aumentar el conocimiento hidrogeológico de este sector de la Unidad Hidrogeológica Urbasa y, por otro, la construcción de un punto de obtención de recursos susceptible de integrarse, junto con el sondeo ZIKUJANO-A, en la infraestructura de recarga del sistema de Zadorra en caso de situación hidrológica de sequía.

El acceso se realiza desde la carretera de Zikujano a Iturrieta, limitándose la obra civil necesaria al acondicionamiento con árido de un total de 50 m de camino, la explanación del emplazamiento para la maquinaria y la construcción de una balsa de lodos mediante excavación y terraplenado.

Las coordenadas UTM y la cota aproximada del punto de perforación son las siguientes:

X= 546.280
Y= 4.734.020
Z= 690 m.



Emplazamiento sondeo ZIKUJANO-B

3.- GEOLOGIA. HIDROGEOLOGIA

3.1.- Estratigrafía

El área presenta un amplio registro de materiales que están comprendidos entre el Triásico y el Mioceno.

Triásico

Los materiales triásicos afloran en el complejo diapírico de Maeztu que ocupa toda el sector occidental del área, tal y como se observa en el plano adjunto al informe. Consisten, básicamente, en arcillas abigarradas con yesos y cantos de ofitas y brechas tectónicas poligénicas. Englobados en ellos aparecen masas subcirculares de calizas y dolomías de extensión limitada.

Cretácico superior

Está constituido por materiales predominantemente terrígenos, de edades comprendidas entre el Campaniense superior y el Paleoceno. Los materiales basales constituyen un potente conjunto, hasta 4000 m de potencia, formado por areniscas calcáreas, localmente microconglomeráticas, que alternan con limolitas y areniscas de grano fino. Se observan frecuentes intercalaciones de calizas arenosas. A techo se localiza un paquete de areniscas conglomeráticas descalcificadas y arenas. Alcanza una potencia máxima de 40 m y presenta abundantes cantos blandos.

Terciario

El tránsito Cretácico superior - Terciario no se encuentra bien diferenciado en toda el área. Esquemáticamente, se distinguen los siguientes términos:

Paleoceno

En el tránsito Maastrichtiense-Danomiense se dispone un paquete de dolomías masivas recristalizadas, en ocasiones muy descalcificadas, conocido como dolomías de Marquínez y con una potencia comprendida entre 30 y 45 m. A continuación, se sitúan unas margodolo-

mías y dolomías que pueden alcanzar 100 m de potencia. Con una importante proporción de arcillas, afloran con frecuencia muy alteradas, constituyendo las denominadas margas azules montienses. Sobre estas margas se dispone un potente conjunto calcáreo (hasta 200 m), perteneciente al Thanetiense inferior, constituido por calcarenitas y biomicitas alternando en niveles de diversa potencia; ocasionalmente aparecen pasadas más ricas en terrígenos. El Thanetiense superior está constituido por una serie mixta con dos términos bien diferenciados: uno compuesto por calcarenitas, dolomías calizas arenosas, arenas y margas y una potencia de unos 20 m y otro constituido por areniscas microconglomeráticas y arenas de potencia similar y que se conoce como arenas de Laminoria.

Eoceno-Mioceno

En la zona occidental está constituido por las denominadas calcarenitas de foraminíferos, dando paso lateralmente hacia el Este a términos más terrígenos: areniscas, limolitas, calizas y arcillas.

3.2.- Tectónica

La zona que se presenta está localizada en el ámbito de una macroestructura muy importante, el sinclinal Miranda-Treviño-Urba, de directriz marcada E-O. Localizada en el flanco Sur de la estructura, los suaves buzamientos se ven acompañados de fallas distensivas de poca entidad. El diapiro de Maeztu modifica en la zona esta escasa tectonización. La movilización del mismo, a partir del Santoniense, condiciona la sedimentación en el área, ocasionando numerosas discordancias sedimentarias y diferenciando cubetas en las que se acumulan facies particulares, como es el caso de la cubeta de Aletxa.

3.3.- Hidrogeología

La zona pertenece a la denominada Subunidad Igoroin, enclavada en la Unidad Hidrogeológica Urbasa. Esta Subunidad, con una superficie cercana a 80 Km², está situada al Este del diapiro de

Maeztu y se le atribuyen unos recursos renovables totales de 27 Hm³/año.

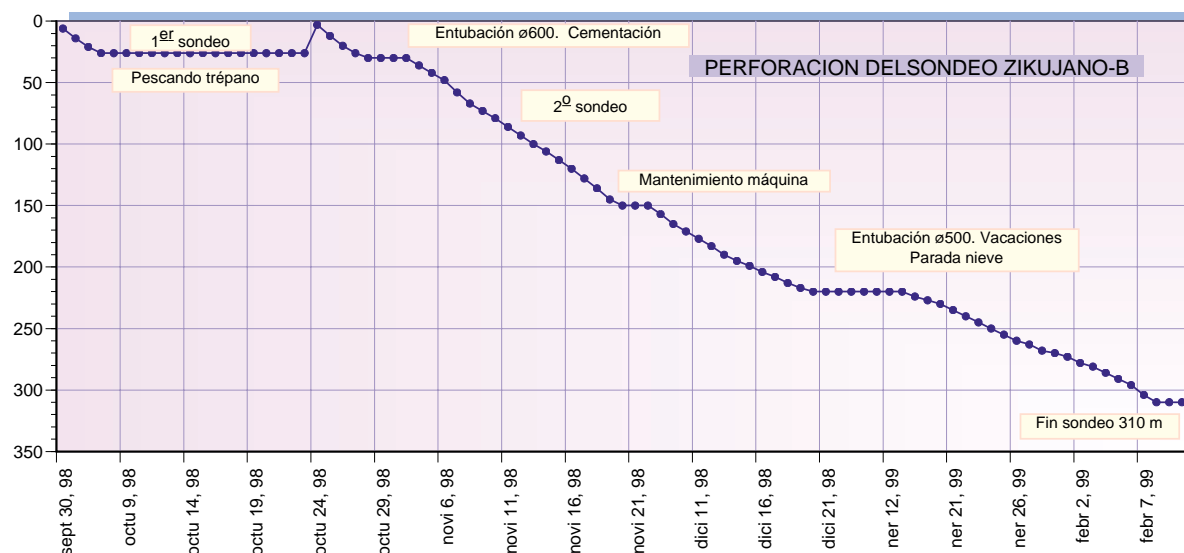
Las descargas se dirigen a los manantiales Igoroin e Irazulo, con aportaciones anuales respectivas de 9,5 Hm³, Iturrioz (1,6 Hm³) y Laminoria (1,3 Hm³). Los 4,5 Hm³ restantes se justifican por la aportación de las pequeñas salidas ubicadas al Norte (1,5 Hm³) y las salidas directas al cauce del río Berrón, cuantificadas en 3 Hm³.

En la tabla adjunta se presenta, simplificada, la columna hidrogeológica a perforar en el sondeo ZIKUJANO-B.

LITOLOGIA	POTENCIA (m)	PERMEABILIDAD
calcarenitas, biomicritas	100-200	MEDIA
margodolomías dolomías	40-100	BAJA
dolomías	30-45	ALTA
areniscas conglomeráticas	0-40	ALTA
areniscas, margas, limolitas	400	BAJA

Se evidencia la existencia de dos materiales acuíferos de interés: las dolomías y las areniscas microconglomeráticas infrayacentes. Además, la perforación del sondeo Zikujano-2 ha evidenciado la existencia de una zona de interés, por la fracturación y porosidad intergranular que se observa, entre los metros 135 y 160.

Figura 1



4.- CONSTRUCCION DEL SONDEO

4.1.- Equipo de perforación y desarrollo de los trabajos

La perforación ha sido realizada por el método de percusión con cable con un equipo de la empresa Sondeos Manuel Ruiz Guerra.

La figura 1 refleja el desarrollo de los trabajos de perforación. La máquina se emplaza el día 30 de Septiembre de 1998.

La evolución de la perforación se resume en el cuadro de la página siguiente.

4.2.- Características técnicas del sondeo

El sondeo realizado presenta las siguientes características constructivas:

Perforación		
Profundidad (m)	ø (mm)	Tipo
0-30	700	Trépano
30 - 226	560	Trépano
226 - 310	480	Trépano

En previsión de una posible surgencia del sondeo se procede a la entubación y cementación de los 30 metros superiores, instalándose una derivación con válvula de DN 150 mm. Posteriormente, las caídas registradas obligan a revestir el sondeo hasta el metro 226. Al término de la perforación se dejan revestidas las

Construcción del Sondeo de Explotación ZIKUJANO -B

Día	Prof. alcan	Avance	φPerf	Prof. entu	φ Ext x	OBSERVACIONES
30/09/98	6	6	650			
1/10/1998	14	8	"			
2/10/1998	21	7	"			Aporte de agua en el m 14
3/10/1998	26	5	"			
4/10/1998	26	0	"			Agarre del trépano
9/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
10/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
11/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
12/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
13/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
14/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
15/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
16/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
17/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
18/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
19/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
20/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
21/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
22/10/1998	26	0	"			Pescando el trépano
23/10/1998	26	0	"			Desmontando máquina
24/10/1998	3	3	820			Montando máquina. Se comienza nuevo sondeo
25/10/1998	12	9	"			Aporte de agua en el m 14
26/10/1998	20	8	"			
27/10/1998	26	6	"			
28/10/1998	30	4	"			
29/10/1998	30	0	"			
30/10/1998	30	0		30	600x584	Entubación y cementación
3/11/1998	30	0	570			
4/11/1998	36	6	"			
5/11/1998	42	6	"			
6/11/1998	48	6	"			
7/11/1998	58	10	"			
8/11/1998	67	9	"			
9/11/1998	73	6	"			
10/11/1998	79	6	"			
11/11/1998	86	7	"			
12/11/1998	93	7	"			
13/11/1998	100	7	"			
14/11/1998	106	6	"			
15/11/1998	113	7	"			
16/11/1998	120	7	"			
17/11/1998	128	8	"			
18/11/1998	136	8	"			
19/11/1998	145	9	"			
20/11/1998	150	5	"			
21/11/1998	150	0	"			Mantenimiento maquina
7/12/1998	150	0	"			Mantenimiento maquina
8/12/1998	157	7	"			
9/12/1998	165	8	"			
10/12/1998	171	6	"			
11/12/1998	177	6	"			
12/12/1998	183	6	"			
13/12/1998	190	7	"			
14/12/1998	195	5	"			
15/12/1998	199	4	"			
16/12/1998	204	5	"			
17/12/1998	208	4	"			
18/12/1998	213	4	"			
19/12/1998	217	4	"			
20/12/1998	220	3	"			
21/12/1998	220	0	"	120	516x500	Entubando
22/12/1998	220	0	"	180	516x500	Entubando
7/1/1999	220	0	"			Parada por nieve
10/1/1999	220	0	"			Parada por nieve
11/1/1999	220	0	"			Preparando herramienta
12/1/1999	220	0	"			Preparando herramienta
13/1/1999	220	0	"			Preparando herramienta
14/1/1999	224	4	470			
18/1/1999	227	3	"			
20/1/1999	230	3	"			
21/1/1999	235	5	"	"	"	
22/1/1999	240	5	"	"	"	
23/1/1999	245	5	"	"	"	
24/1/1999	250	5	"	"	"	
25/1/1999	255	5	"	"	"	
26/1/1999	260	5	"	"	"	

Construcción del Sondeo de Explotación ZIKUJANO -B

Día	Prof. alcan	Avance	φPerf	Prof. entu	φ Ext x	OBSERVACIONES
27/1/1999	263	3	"	"	"	
28/1/1999	268	5	"	"	"	
29/1/1999	270	2	"	"	"	
1/2/1999	273	3	"	"	"	
2/2/1999	278	5	"	"	"	
3/2/1999	281	3	"	"	"	
4/2/1999	286	5	"	"	"	
5/2/1999	291	5	"	"	"	
6/2/1999	296	5	"	"	"	
7/2/1999	304	8	"	"	"	
8/2/1999	310	6	"	"	"	
9/2/1999	310	0	"	"	"	
10/2/1999	310	0	"	"	"	



Entubación del sondeo

margas montienses por la inestabilidad del tramo.

Entubación			
Prof. (m)	φint (mm)	Pared (mm)	Tipo
0-30	574	8	Acero virolas ciega
159 - 226	500	8	Acero virolas ciega

Las uniones entre los diferentes largos se realizan mediante soldadura eléctrica.

El anular entre la perforación y la tubería de ϕ 590 mm se cementa con lechada de densidad $1,75 \text{ gr/cm}^3$ que se inyecta en la base de la entubación mediante una tubería de ϕ 2".

Cementación		
Prof. (m)	Volumen (m ³)	Tipo
0 - 30	5	Lechada de cemento $\rho = 1,75 \text{ gr/cm}^3$

El sondeo se cierra mediante una brida DN 600 PN 6 soldada y una tapa ciega atornillada. La tapa se taladra soldándose un manguito hembra de ϕ 2" con ta-

pón ciego para permitir la medida de niveles.

4.3.- Columna litológica - Aportes de agua

Durante la realización del sondeo se han recogido muestras cada 2 m que se presentan en las fotos adjuntas.

Tal como se ha comentado en antecedentes, el sondeo de explotación se localiza a 90 m del sondeo de investigación Zikujano-2, realizado en 1990 por el método de rotación con extracción continua de testigo. Tal

como cabía esperar, la columna del Zikujano B es análoga a la del 2, presentando escasas variaciones. En el informe de este sondeo se pueden obtener mayores precisiones lito-estratigráficas.

La columna sintética atravesada es:

Prof. (m)	Litológica
0-160	Calcarenitas, calizas y dolomías, intercalaciones decimétricas de limos. THANETIENSE
160-229	Dolomías margosas y dolomías. MONTIENSE
229-273	Dolomías. DANES
273-310	Areniscas calcáreas. MAASTRICHTIENSE SUPERIOR

La perforación presenta pequeños aportes de agua desde los primeros metros, si bien no se constata ninguna alteración del nivel o pérdida de ripio que pueda delatar la existencia de aportes de entidad. La realización de un valvuleo al término de las labores de perforación ofrece un caudal específico reduci-



do: 0,4 l/s/m en tan sólo 15 ". El nivel hidráulico se abate desde 6,30 m hasta 21,00 m invirtiendo 30 minutos en la recuperación. Estos resultados aconsejan la realización de una prueba de producción para estimar la conveniencia de equipar el sondeo.

El bombeo se realiza los días 18 y 19 de Febrero de 1999. A continuación se describe el desarrollo y resultados de esta prueba.

4.4 1ª prueba de producción

El sondeo ha sido equipado por la empresa CITI,S.A. con un grupo motobomba marca INDAR modelo KM- 250 de 180 CV de potencia. La tubería de impulsión es de \varnothing 200 y la rejilla de la bomba queda instalada a 135 m de profundidad. El caudal se controla mediante un dispositivo de diafragma y tubo Pitot vertiéndose el agua bombeada en un contenedor conectado a una línea de 120 m de tubería de PVC de \varnothing 250 mm que evacúa el caudal al arroyo vecino.

En la figura 2 se presenta el desarrollo de la prueba, adjuntándose los datos en las tablas del Anexo 1. El primer esca-

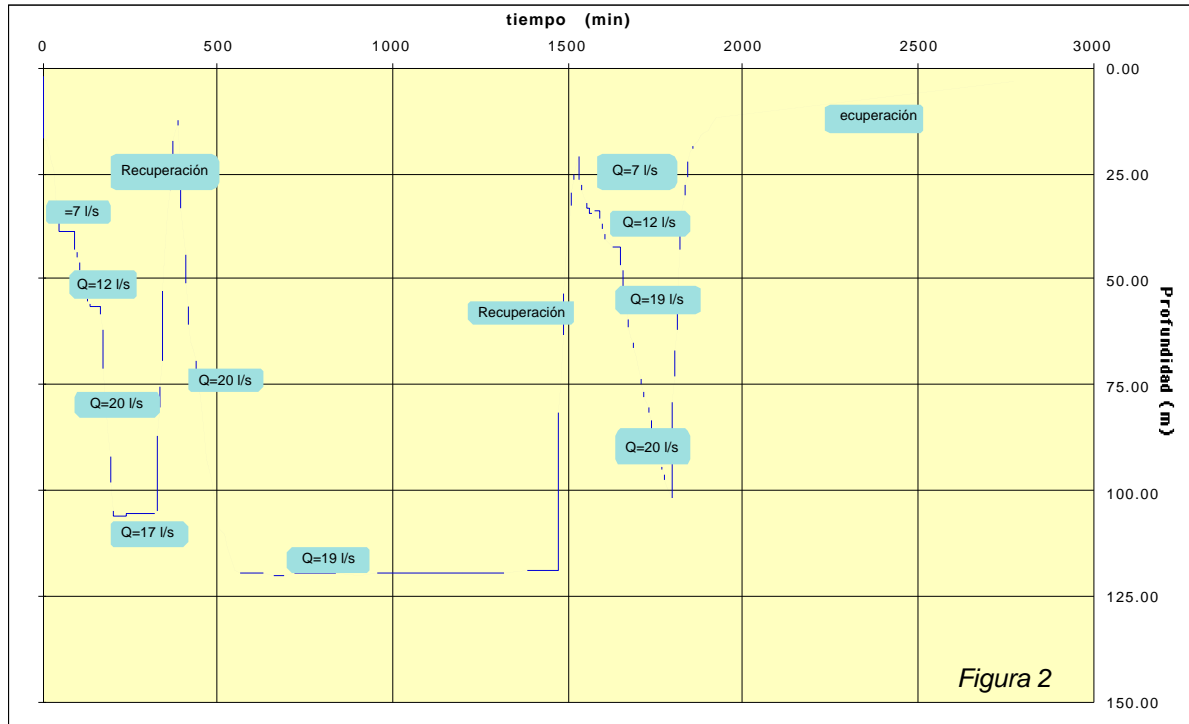
lón se realiza con un caudal de bombeo de 7 l/s que se mantiene durante 90 minutos estabilizándose el nivel en torno al metro 38,30.

A continuación se realiza un segundo escalón aumentando el caudal de bombeo hasta 12 l/s. Los descensos se estabilizan al cabo de 55 min en torno al metro 56,40 y con agua en todo momento muy turbia y con arrastres de arena. Tras 75 min se aumenta el caudal hasta 20 l/s, ante lo cual el pozo registra

unos descensos de gran importancia, superiores a 1 metro/minuto, que no disminuyen con el tiempo y obligan, en el minuto 40 del escalón, a reducir el caudal a 17



l/s. Este caudal logra la estabilización del nivel dinámico en el metro 105,80, observándose hasta el minuto 165 un claro efecto de desarrollo del entorno del pozo por la evacuación de finos que facilita la recuperación del nivel hasta el metro 105,08. En este punto se para el bombeo para observar la recuperación y proceder a continuación, y en vistas de la gran cantidad de arrastres constatada, a un bombeo de limpieza a caudal constante.



La recuperación se controla durante 60 minutos y permite el ascenso del nivel en el pozo hasta el metro 12,29. A continuación se arranca el bombeo con un caudal de 20 l/s y en el min 170, ante la importancia de los descensos, se reduce a 19 l/s. El nivel dinámico se estabiliza en torno al metro 120 y el agua aclara paulatinamente. El bombeo se para a los 1080 minutos. El cese del bombeo durante 60' permite la recuperación del nivel hasta el metro 20,81. A partir de este momento se realiza una segunda tanda de escalones con los mismos caudales de la primera con objeto de constatar la mejora que el desarrollo haya podido obrar. Esta tanda finaliza

con un caudal de bombeo de 20 l/s y el nivel dinámico, sin estabilizar y con velocidades de descenso de ≈ 15 cm/min, a una profundidad de 102 m en el minuto 150 del escalón. La recuperación posterior proporciona un descenso residual de 10 m a las 2 horas del cese del bombeo y de 1,53 m a las 16 horas.

El agua presenta a lo largo de casi toda la prueba importantes arrastres de arcilla y arena. Sólomente se reducen y se hacen básicamente arcillosos en la parte final del bombeo a caudal constante y la segunda tanda de escalonados. Esto produce un importante efecto de desarrollo, caracterizado en las gráficas por los tramos de nivel ascendente no motivados por mermas del caudal bombeado.



Bombeo Zikujano-B Febrero de 1999

Por otra parte, la importancia de los descensos durante el bombeo ha obligado a ajustes continuos del caudal bombeado, hasta dos veces por minuto, con objeto de mantenerlo constante. Este proceso genera algunas irregularidades en el caudal bombeado que en un pozo de estas características se pueden reflejar multiplicadas en los descensos. Así, aumentos de caudal de 1 l/s genera

frecuentemente depresiones del nivel dinámico de varios metros.

La prueba se ha realizado en condiciones hidrológicas de aguas altas, producto de la fusión de la nieve caída en la semana anterior y de las lluvias registradas en este período.

Análisis de resultados

La naturaleza de la prueba realizada, bombeo de limpieza inmediatamente después de finalizada la perforación, con el entorno del sondeo sin desarrollar y una formación en la que las vías de aporte al pozo presentan un alto grado de colmatación, obliga a relativizar los parámetros hidráulicos que se puedan obtener. Tanto la transmisividad como los caudales específicos de la formación se incrementan a lo largo de bombeo a causa del desarrollo del entorno del pozo y aún así no se pueden considerar representativos al no haber finalizado el proceso de limpieza.

El primer bombeo escalonado y el de caudal constante posterior generan una mejora importante del rendimiento del sondeo, con reducciones de los descensos de casi 20 m para cada caudal ensayado, como se evidencia en la figura 3.

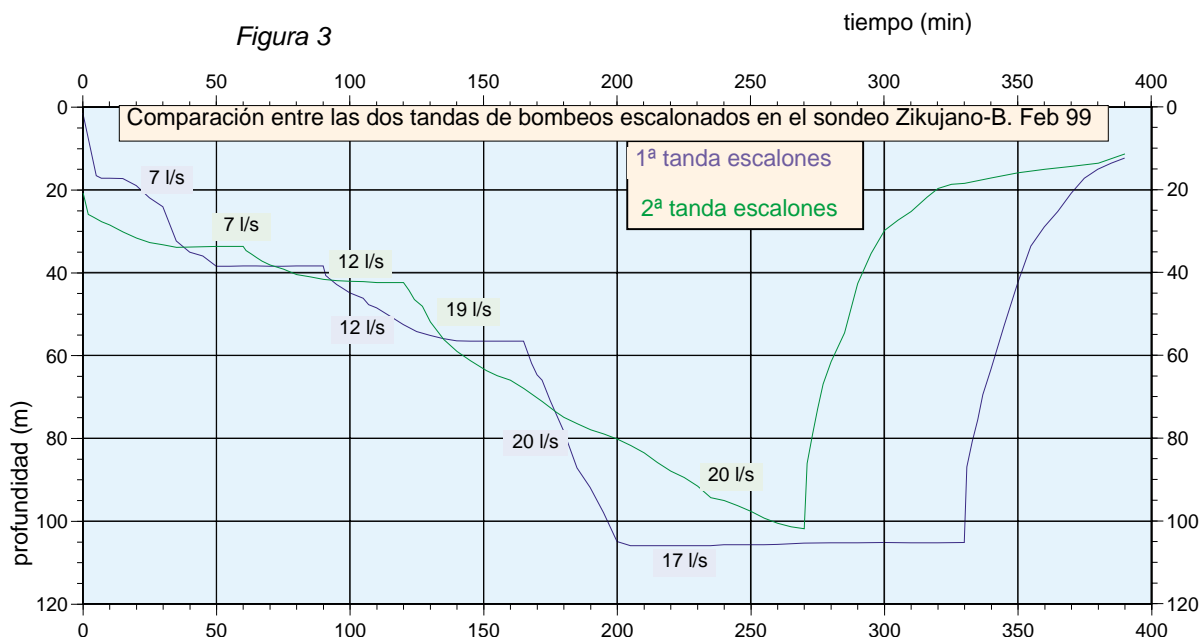
No obstante, se constata claramente (figura 4) que el caudal crítico en las



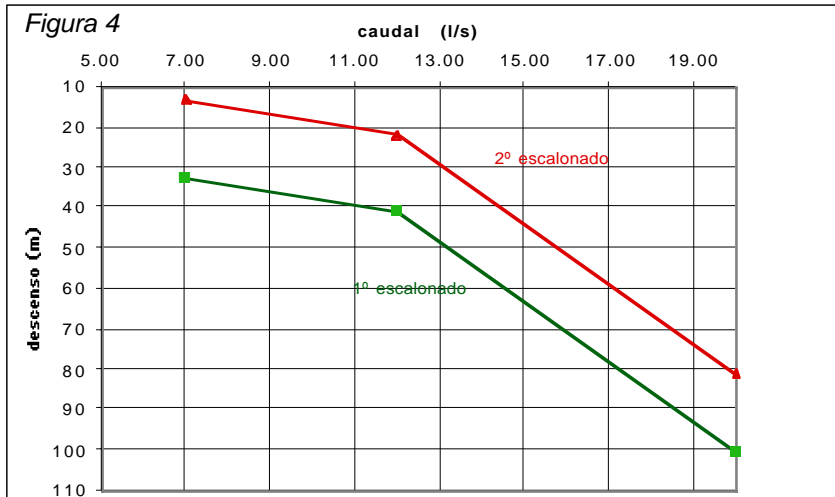
Bombeo Zikujano-B. $Q_b=19 \text{ l/s}$

dos pruebas se sitúa entre 12 y 20 l/s. El bombeo a caudal constante posterior al escalonado permite fijar este caudal en unos 17-19 l/s, produciéndose por encima de los 19 l/s el desplome del nivel con un fuerte enturbiamiento del agua bombeada.

El caudal crítico continúa invariable después del bombeo a caudal constante y el escalón de 20 l/s genera una depresión del nivel de más de 60 m que sólo cesa al parar el bombeo. Este hecho apunta a que las posibilidades de desarrollo del sondeo mediante limpieza del entorno del pozo están limitadas por una colmatación profunda que afecta al comportamiento básico del acuífero en la zona.



Si la transmisividad aparente obtenida en la prueba está fuertemente marcada por la evacuación de los rellenos que colmatan el acuífero, el cálculo del coeficiente de almacenamiento es aún más desaconsejable ya que la prueba se ha dividido en un gran número de tramos, con 3 períodos de recuperación. El registro incompleto del piezómetro Zikujano-2 resulta, por lo tanto, de muy difícil interpretación.



cia.

El control de conductividades realizado a lo largo de la prueba revela escasa variaciones, entre un mínimo de 335 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un máximo de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El bombeo de Zikujano-B afecta a los puntos próximos, ocasionado una depresión del nivel de más de 7 metros en el piezómetro Zikujano-2, situado a 90 m, deprimiendo el nivel desde la surgencia con una presión superior a 3 m.c.a. hasta los 4 m de profundidad. Por su parte, el sondeo Zikujano-A emplazado a más de 500 m registra el bombeo y se observa una afección máxima de 1,50 m tal y como se observa en la figura 5.

El ascenso del nivel, ocasionado por la fusión de la nieve caída en días anteriores, se ve afectado por el bombeo de Zikujano-B que deprime el nivel de 7 a 8,50 m. La afección es muy rápida, así a los 120 minutos del inicio del bombeo se interrumpe la recuperación y a los 270 minutos el nivel en Zikujano-A comienza a descender, no interrumpiéndose el descenso hasta las 13:30 h del día 19. Primero se interrumpe el descenso por la recuperación del nivel tras el bombeo a caudal constante. A continuación, a las 18 h se inicia la recuperación, 120 minutos después del cese del bombeo.

El registro de Zikujano-A representa la profundidad del nivel bajo una cota virtual situada 15 m sobre la brida del sondeo. Por lo tanto, todos los puntos situados a una profundidad de menos de 15 m responden a una situación de surgencia.

El bombeo a caudal constante de 20 l/s genera unos descensos muy importantes, 28 cm/min en el minuto 160, que no disminuyen hasta que en el minuto 170 el caudal se reduce a 19 l/s. A partir de este punto el nivel permanece estabilizado con pequeñas oscilaciones asociadas al desarrollo del sondeo y a las maniobras de ajuste del caudal. Como se observa en la figura 6 el resultado no permite el cálculo fiable de ningún parámetro hidráulico.

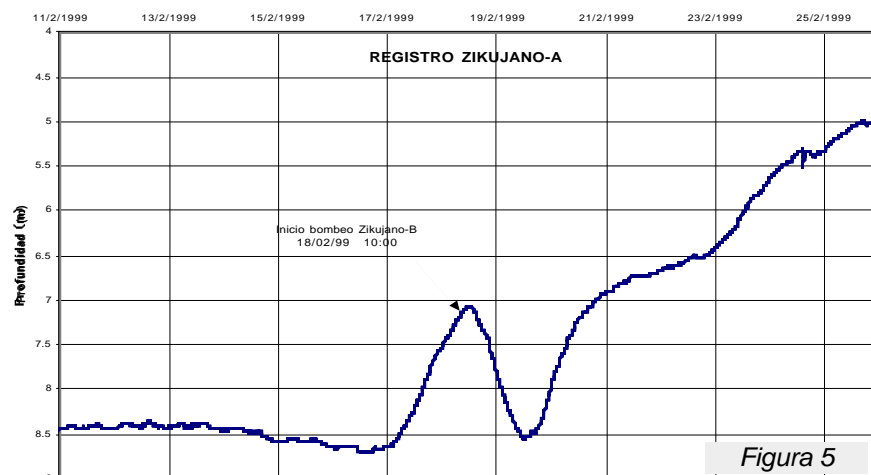
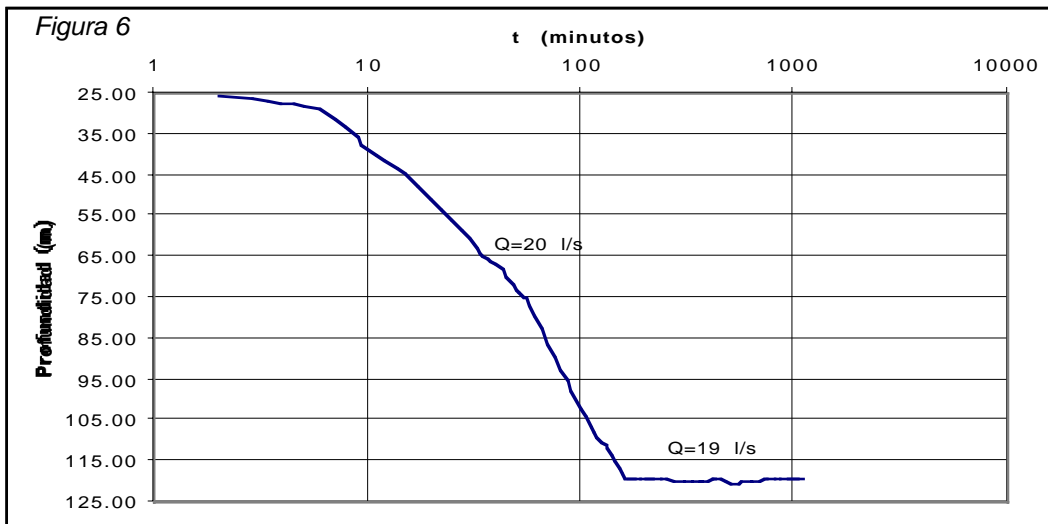


Figura 5

En la figura 7 se representa la recuperación observada al término del bombeo a caudal constante de 19 l/s. La repre-



sentación s-log t+t'/t' refleja una baja transmisividad del medio, obteniéndose con el caudal de cálculo empleado un valor de 4 m²/día.

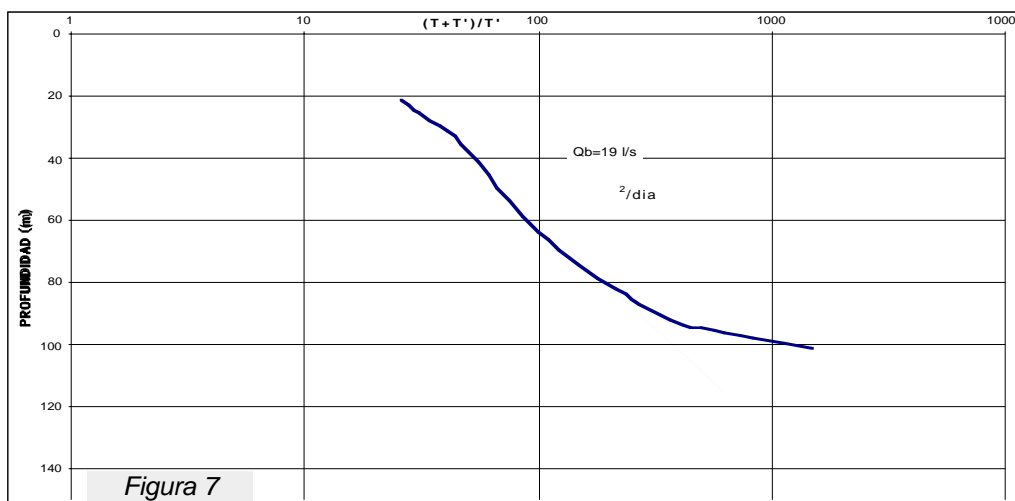
Este valor es congruente, aunque inferior, al obtenido en la primera prueba de producción del sondeo Zikujano A que era algo superior a 10 m²/día, lo que permite suponer ciertas posibilidades de mejora del sondeo mediante desarrollo con ácido clorhídrico.

No obstante, se decide la realización en primer lugar de una inspección endoscópica y de diagráfias en el sondeo con objeto de determinar la procedencia del agua y de los arrastres y establecer las posibilidades y método de desarrollo con el fin de mejorar el rendimiento del sondeo.

4.5.- Inspección endoscópica. Diagrafías

Los trabajos se realizan los días 13 y 14 de Abril de 1999 y son llevados a cabo por un equipo de la empresa Hydro Invest. Las actuaciones tienen lugar según la secuencia que se describe a continuación, figurando el informe completo de la inspección en el Anexo 2.

- Inspección endoscópica del sondeo mediante vídeo. Se realiza en primer lugar, con objeto de evitar la movilización de los finos depositados en las paredes del sondeo, lo que restará visibilidad llegando a anularla.
- Registros geofísicos en estática. Se



registran los siguientes parámetros del agua del sondeo: Flujo natural, Temperatura y Conductividad.

A continuación se instala una bomba de 6" a 57 m y se inicia el bombeo manteniendo un caudal de 40 m³/h (11,1 l/s).

- Registros geofísicos en producción. Los parámetros que se registran durante el bombeo son: Flujo en bombeo, Temperatura y Conductividad. La medida del caudal bombeado se realiza mediante un caudalímetro electromagnético y el nivel hidráulico con un sensor de presión. Los resultados se verifican con un vertedero triangular (el caudal) y con una sonda eléctrica (el nivel hidráulico en el sondeo). Durante el ensayo se producen bloqueos de la helice del minimolinet que restan representatividad a las medidas.
- Registro geofísico del terreno. Se determinan los siguientes: Rayos Gamma, Resistividad mono electródica y Resistividad 16" y 64".

Con posterioridad se instala nuevamente la bomba y se registran diagráfias de producción, esta vez con un caudal de bombeo de 20 m³/h (5,6 l/s)

Inspección endoscópica - Registro de vídeo

El registro se realiza con el sondeo abierto, con la excepción de los intervalos de 0 a 30 metros y de 159 a 220 m, que se encuentran revestidos con tubería de acero.



Cámara utilizada en la inspección endoscópica.

La visibilidad en los 30 metros superiores es deficiente, debido a la turbidez generada por los flóculos bacterianos en suspensión, mejorando entre la base del tubo y los 50 metros y siendo francamente buena a partir de esta cota y hasta los 250 m. A partir de esta cota se reduce gradualmente siendo nula por debajo de los 292 metros por lo que el registro se detiene a 297 m.

Las calizas del Thanetiense se encuentran en los primeros metros muy compactas y masivas, no observándose discontinuidades hasta el metro 43. A partir de este punto se observan fracturas abiertas de luces decimétricas y abundantes planos de estratificación. En las zonas de intersección se generan, por el desprendimiento de cuñas durante la perforación, cavidades que deforman por completo la sección. Son apreciables finos, arcillas y arenas rojas y pardas, tanto en las irregularidades de las paredes como rellenando las superficies abiertas que se cortan, si bien en este caso no se aprecia el alcance de la colmatación.

Las principales zonas de interés son:

- 43,3-44,4 m. Diaclasa abierta N-0-E
- 51,9-52,4 m Diaclasa
- 57,0-58,5 m. Diaclasa abierta N-60-E, sección deformada
- 64,1-70 m. Diaclasa abierta N-90-E, sección muy deformada. Karstificada
- 76,0-77,9 m. Diaclasa abierta N-110-E, calizas menos masivas. Karstificada
- 90,4-93,9 m. Diaclasa N-100-E poco abierta. Karstificación importante
- 100,5-102,4 m. Pequeña diaclasa con varios planos de estratificación superpuestos
- 121,0-122,9 m. Diaclasa abierta N-90-E, sección deformada
- A partir de 116 m las calizas son menos masivas presentando abundantes juntas de estratificación margosas de tamaño centimétrico
- 158,9-220,3 m. El sondeo se encuentra revestido con tubería de acero de \varnothing 516x500mm. Se observan numerosas roturas de las soldaduras de unión entre los tubos, si bien en ningún momento se obstaculiza el paso de las herramientas. Entre los metros 205 y 207,2 un lateral de la tubería ha sido fresado abriéndose una ventana que

Construcción del Sondeo de Explotación ZIKUJANO -B

permite el acceso a la formación margosa.
228,8 m. Contacto de la serie margodolomítica del Monticense con las dolomías del Danés
229,0-237,0. Diaclasa cerrada N-80-E
240,7-253,0. Pequeña diaclasa, sección deformada
255,6-257,8 m. Diaclasa, sección deformada
273,0 m. Contacto entre las dolomías del Danés y las areniscas del Maastrichtiense

A continuación se presentan las fotografías de los puntos singulares del sondeo que se han observado. En el anexo 2 se adjuntan todas las fotografías realizadas.



Foto 3 (68.80 m). Vista lateral de la diaclasa.

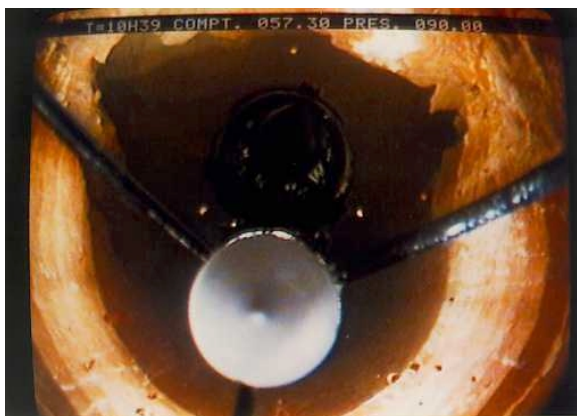


Foto 1 (57,30 m). Pequeña diaclasa N-80-E



Foto 4 (90,70 m). Vista lateral de la diaclasa N-100-E. Se observan depósitos de arcilla y arena

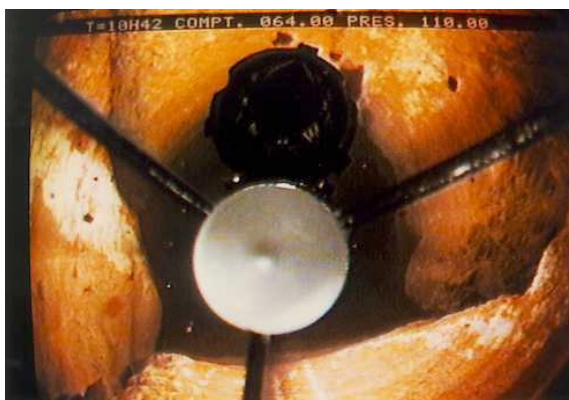


Foto 2 (64,00 m). Diaclasa abierta N-90-E



Foto 5 (101,20 m). Pequeña diaclasa y plano de estratificación

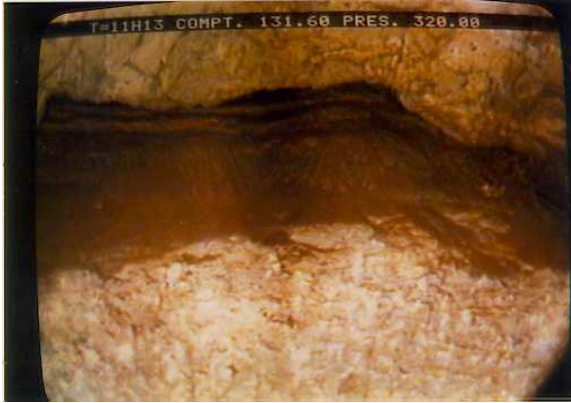


Foto 6 (131,60 m). Vista lateral de plano de estratificación. Se observan depósitos de arena sobre las irregularidades



Foto 9 (157,8 m). Parte superior de la tubería de revestimiento de ø516x500mm.



Foto 7 (140 m). Diaclasa



Foto 10 (242,5 m). Diaclasa subvertical en las dolomías



Foto 8 (146,4 m). Vista lateral de un plano de estratificación. Depósito de arenas sobre las irregularidades

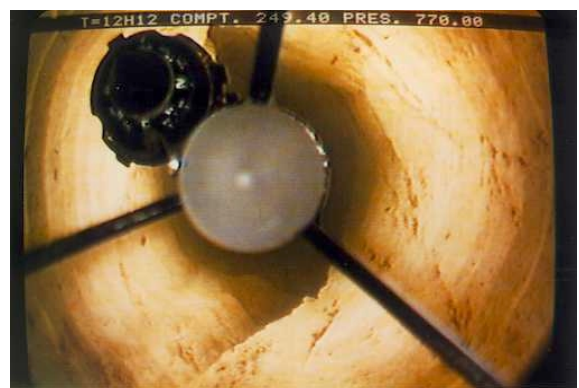


Foto 11 (249,4 m). Continuación de la diaclasa. Agua más turbia



Foto 12 (272,2 m). Contacto entre las dolomías del Danés y las areniscas del Maastrichtiense

Diagrafías eléctricas - Radiación natural Gamma

Se engloban en este apartado los registros de resistividad monoeléctrica y corta-16" y la radiación natural gamma. La sonda que registra la resistividad larga-64" ha tenido problemas en el intervalo 0-229 m por lo que este intervalo no se presenta en la gráfica.

Tal y como se observa en la Fig. 8, las diagrafías radioeléctricas permiten la diferenciación de 5 grandes unidades litológicas:

- ◊ 0-69 m : se caracterizan por el bajo valor de los rayos gamma , en general por debajo de 10 c.p.s., y valores de la resistividad comparativamente altos, por encima de 30 Ohmsm. Este nivel se corresponde con las calizas thanetienses más masivas y puras con un bajo contenido en arcillas que aparecen muy caracterizadas por los elevados contrastes que se observan. Estas caídas de la resistividad y subidas de los rayos gamma se asocian, al compararse con el registro videográfico, con los depósitos de finos que colmatan las fracturas atravesadas
- ◊ 69-140 m: se produce un incremento de los rayos gamma por encima de 10 c.p.s. y la resistividad del material se reduce, pasando al intervalo 20-40 Ohmsm. Se interpreta como un paso gradual a calizas menos puras y masivas
- ◊ 140-229 m: serie más margosa con abundantes planos de estratifica-

ción, como evidencian las resistividades. El registro entre 160 y 220 se encuentra obstaculizado por la entubación existente, pero el breve tramo abierto (220-229 m) presenta características análogas al de 140-158. En función de este registro, la serie margodolomítica montiense se extiende desde 140 hasta los 229 m.

- ◊ 229-273 m: los rayos gamma bajan hasta menos de 10 c.p.s. y la resistividad vuelve a superar los 30 Ohmsm. Se trata de las dolomías del Danés
- ◊ 229-300 m: el registro de rayos gamma va aumentando hasta superar las 60 c.p.s./s, paralelamente la resistividad de la formación se reduce por debajo de 20 Ohmsm. Se trata de las areniscas del Maastrichtiense que presentan un contenido de finos muy importante, y creciente, que le resta todo interés hidrogeológico.

Registros geofísicos en estática

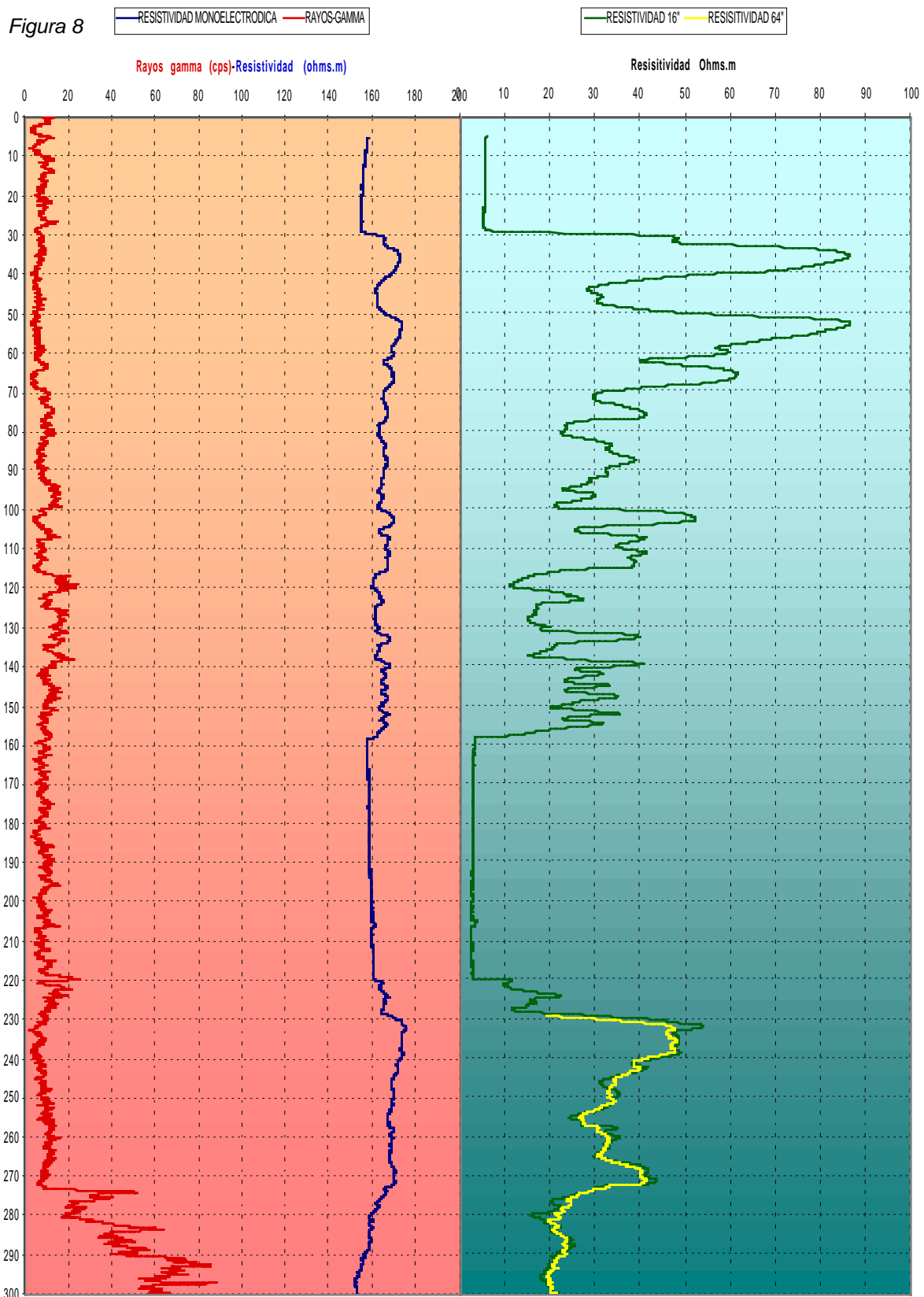
Se registran la temperatura, la conductividad y la velocidad del flujo de agua en el sondeo en condiciones estáticas, sin bombeo. El registro de estos parámetros en estas condiciones, junto al obtenido en dos bombeos con sendos caudales de 20 y 41 m³ se representa en la figura 9.

Temperatura. El registro se realiza con una temperatura en el exterior de 10,9°C. Las principales anomalías térmicas detectadas son:

- ◊ 67-70 m: zona fisurada, se pasa de un gradiente de 3,1°/100 m a 1,9°/100 m
- ◊ 79 m: zona fisurada y plano de estratificación, el gradiente se reduce a 0,5°/100 m
- ◊ 160 m: al comienzo de la tubería de revestimiento el gradiente pasa a ser nulo. La temperatura se mantiene en 13,5°C
- ◊ 205 m: la ventana en la entubación refleja un débil gradiente positivo
- ◊ 236-257 m: se observa de nuevo un gradiente positivo en las dolomías danienses (1,8°/100 m)

La anomalía del gradiente localizada a

Figura 8



70 m se interpreta representativa de una circulación entre dos niveles acuíferos con distinto potencial en el fondo del sondeo y a esta cota.



Registro de flujo. Micromolinete con campana reductora

Conductividad. La conductividad en superficie (472 μ S/cm) y fondo (508 μ S/cm) varía muy poco. Las únicas anomalías detectadas son muy débiles y se localizan en los metros: 68, 245, 274 y 296.

Registro de Flujo. El registro se ha realizado utilizando una campana de 300 mm para concentrar el flujo en una sección menor, aumentando así el rango de medición. La principal conclusión del mismo es que no se detecta ningún flujo, por lo que la circulación entre acuíferos, detectada en la termografía, debe ser de muy escasa importancia.

Producción

Se han realizado dos bombeos, en condiciones hidrológicas de aguas medias, registrándose durante los mismos distintas variables, tanto en el perfil del sondeo como en el punto de surgencia. El primer bombeo se realiza el 13 de abril con un caudal de 41 m³/h y se registra el intervalo entre 60 y 300 m. El agua, con una elevada turbidez debido a arrastres de arena, bloquea continuamente el eje del molinete impidiendo la certeza en las medidas. Se finalizan los registros de conductividad y temperatura pero el registro de flujo se interrumpe. El día 14 se realiza un nuevo bombeo con un caudal de 20 m³/h y un nivel

de arrastres muy inferior, lo que permite el funcionamiento del molinete.

Resultados hidráulicos

En el cuadro adjunto se resumen los resultados de los dos bombeos realizados:

	13/04/99	14/04/99
Prof. instalación bomba	57 m	24 m
Prof. nivel piezométrico	4,68 m	5,02 m
Duración bombeo	3h 38'	1h 55'
Qmin bombeado:	40 m ³ /h -	17,9 m ³ /h -
Qmed:	41,6 m ³ /h -	20,4 m ³ /h -
Qmax:	47,3 m ³ /h	28,3 m ³ /h
Nivel dinámico máximo	31,97 m	14,1 m
Parámetros a 1 hora de		
- Nivel dinámico	26,14 m	12,98 m
- Caudal medio	43,2 m ³ /h	20,4 m ³ /h
- Depresión	21,46 m	7,96 m
- Caudal específico	2 m ³ /h/m	2,6 m ³ /h/m
Transmisividad media (bombeo+recuperación)	17 m ² /d	20 m ² /d

Las pruebas realizadas proporcionan un valor de transmisividad entre 15 y 20 m²/día, muy superior a la obtenida para tramos del sondeo más profundos, que es inferior a 5 m²/día. Del mismo modo, se calcula la ecuación característica del pozo a 1 hora de bombeo:

$$s = 0,2949Q + 4,6738 \times 10^{-3}Q^2$$

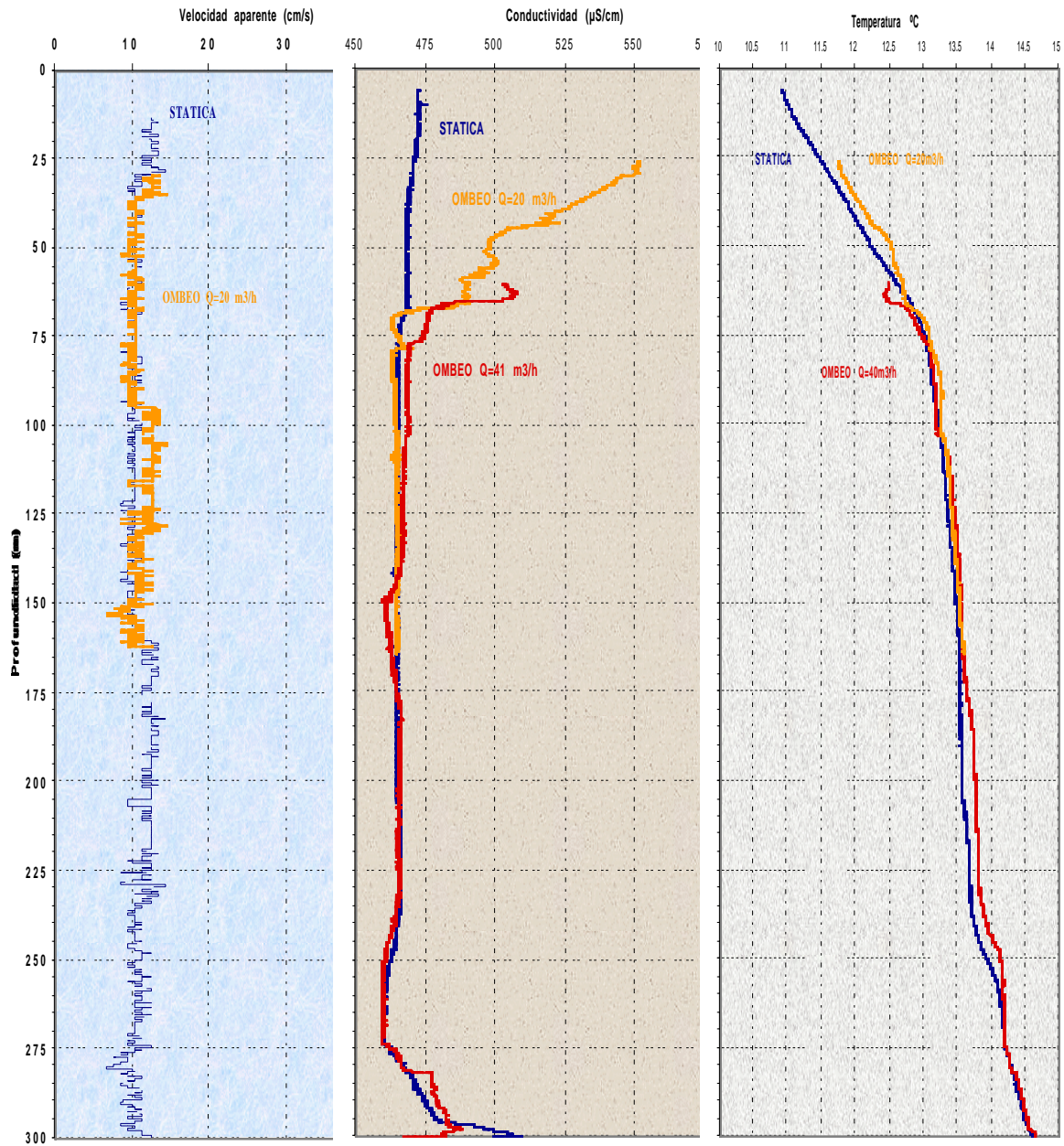
Un mayor detalle de estos aspectos puede obtenerse en el Anexo 2, donde se ofrece el informe completo de la intervención de Hydro Invest.

Estos bombeos confirman la existencia de aportes de agua por encima del metro 57. Estos aportes son ligeramente más fríos y mineralizados que los inferiores. Del mismo modo, se constata una vez más la reducción de la productividad con el descenso del nivel, lo que es atribuible al vaciado parcial de la zona productora superior.

Diagrafías de producción

Los registros de flujo, conductividad y temperatura obtenidos en el intervalo 26-164 m, se presentan en la figura 9. Las principales conclusiones que se pueden obtener de estos registros son:

Figura 9. Perfiles de flujo, conductividad y temperatura en el sondeo Zikujano-B



- ◇ **Termografías**, manifiestan escasas variaciones respecto a los registros en estática. Se observan anomalías térmicas de pequeña magnitud en los metros: 44, 56-58, 66, 76 y 102. Por debajo de esta cota la columna presenta un suave calentamiento, con respecto a las termografías en estática.
- ◇ **Conductividad**, anomalía importante hacia el metro 66, con casi 40 µS/cm por encima del valor en estática. Otras anomalías de menor entidad

se localizan en los metros: 44, 58, 76, 102, 140 y 150. La parte inferior del sondeo presenta un importante incremento de los valores de conductividad que cabe atribuirse a la elevada cantidad de finos en suspensión.

- ◇ **Velocidad aparente del flujo**, solamente se puede interpretar el registro obtenido a 20 m³/h y que evidencia dos zonas con sendos incrementos en la velocidad ascensional del agua, una en la base de la tubería de ø 600 mm, a 30 m de profundi-

dad, y la otra entre 58 y 68 m.

En función de estos registros, se puede establecer la existencia de tres zonas de aporte en el sondeo:

- ◊ Un tercio de los 20 m³/h bombeados procede de las dolomías del Danés, con toda probabilidad de la zona comprendida entre 240 y 253 m
- ◊ Otro tercio parece proceder de la zona situada entre 58 y 68 m de profundidad, en un tramo fisurado de las calizas thanetienses
- ◊ El tercio restante se reparte entre distintas aportaciones menores, la principal de las cuales se localiza a 30 m de profundidad, en la base de la entubación.



Cabezal de inyección

En función de la información obtenida, se decide acometer el desarrollo del sondeo mediante acidificación y *air-lift*.

4.6. Desarrollo del sondeo

De acuerdo con las observaciones realizadas durante la primera prueba de producción y las diagráfias del sondeo, se procede a intentar desarrollar el sondeo mediante inyección de ácido clorhídrico y posterior limpieza y sobre-bombeo con aire comprimido (*air-lift*).

Acidificación

La acidificación del sondeo se realiza el día 29 de Junio de 1999 con un equipo de la empresa Desarrollo de Pozos, S.L. Se instala tubería de PVC de \varnothing 2", procediéndose a la inyección por gravedad de un tapón de ácido de 5 m³ a una profundidad de 240 m, en el techo de las dolomías de Marquinez. El ácido se desplaza mediante inyección de otros 5 m³ de agua, observándose una débil reacción en la formación (del orden de 0,2 kg/cm²) que cae rápidamente.

A continuación, se iza el dispositivo de inyección hasta el metro 120 y se inyectan otros 5 m³ que, tras ser desplazados con un volumen idéntico de agua, provocan el aumento de la presión en cabeza hasta 1,5 k/cm².

En este punto, el cabezal de inyección instalado por Desarrollo de Pozos, SL comienza a perder gas, a pesar de los alivios que se realizan, y el sondeo llega a ser surgente. La columna de agua del pozo alcanza una altura superior a 5 m, aunque no se observa en ningún momento retorno de ácido. Una vez desaparecidas las sobrepresiones se decide la inyección del ácido sobrante (5 m³) en el mismo punto (120 m) ante el temor de que la inyección prevista en el metro 60 reviente la brida de inyección por la menor contrapresión de agua de este punto. Se realiza la inyección observándose un nuevo incremento de la presión en cabeza y nuevas pérdidas en el cabezal. Una vez superado el efecto se procede a desmontar la instalación dándose por concluida la operación.



Labores de inyección

Air-lift

Con objeto de realizar la limpieza del sondeo posterior a la acidificación y desarrollar el entorno del pozo, se procede a la evacuación de agua mediante inyección de aire comprimido (air-lift).

Los trabajos se realizan los días 6 y 7 de Julio de 1999 con un equipo (máquina de perforación Compair modelo Zahorí 1206) de la empresa JO-CAL, S.A. El día 6 de baja el varillaje de perforación hasta el metro 229 en el contacto entre las dolomías y las margas montienses. En este punto comienza la inyección de aire comprimido con dos compresores de 30 kg/cm² y 20 m³/min de capacidad, precisándose más de 15 minutos para poder romper la columna de agua. Se realizan taponos de aire de unos 5 minutos que provocan la evacuación de caudales importantes (>100 l/s) de agua durante períodos de 3 minutos. La inyección de aire se corta al conseguir la surgencia de agua con objeto de no destruir la balsa de evacuación.

El proceso se prolonga durante 1 hora al cabo de la cual, en visita del descenso del nivel reflejado en el manómetro de inyección, se introducen otras 5 varillas bajando el punto de inyección a 259 m. Se reinicia la inyección de aire en tandas de 5 min de carga y 3 de evacuación. Al cabo de 2,5 h es preciso soplar de continuo pues el descenso del nivel dinámico genera la interrupción periódica de la descarga por falta de sumergencia. En este momento llega a precisarse un período de inyección de 9 minutos para conseguir 3,5 minutos de descarga.

Finalmente, 2 horas después de iniciado el ensayo resulta suficiente con un compresor para la evacuación del agua. En vista de la importancia de los descensos en el sondeo y de la escasa sumergencia resultante, se entiende innecesario extender el air-lift a la zona superior a la entubación (entre los metros 50 y 160) pues el trabajo no se podrá realizar adecuadamente. En consecuencia se dan por finalizados los trabajos.



Labores de "air-lift"

El air-lift se ha llevado a cabo en un tiempo total de 9h 30', lo que suponiendo una media de 3 min de producción con un caudal de 80 l/s cada 10 min, resulta un caudal medio para el air-lift de 34 l/s, con lo que el volumen de agua evacuado al final de la prueba resulta ser de unos 1200 m³. El agua sale turbia en todo momento, si bien al final de la prueba se observa una menor proporción de fracción arena.



Salida del agua evacuada a la balsa de lodos

El control de la conductividad a lo largo de la prueba ofrece una variación no muy importante: entre un máximo de 2,35 mS/cm al comienzo de las labores, hasta un mínimo de 1,45 mS/cm al cesar la evacuación. Supuesta una decrecida lineal de las concentraciones y una reacción completa del ácido clorhídrico inyectado con el carbonato cálcico según:

$$2\text{ClH} + \text{CO}_3\text{Ca} \rightarrow \text{Cl}_2\text{Ca} + \text{CO}_2 \uparrow$$

+ H₂O, se puede realizar un balance grosero del cloruro cálcico evacuado, concluyendo que sólo se han evacuado unos 1.700 kg de un total de 23.000 que deben hallarse en solución. No obstante, dada la ausencia de filtros en el equipo del sondeo y que las concentraciones en solución son relativamente bajas, se considera mínimo un posible problema de incrustaciones.

A la vista de esto se decide la realización de un ensayo de bombeo en aguas bajas para finalizar la limpieza del sondeo y evaluar el efecto de los tratamientos de desarrollo.

4.7. 2ª Prueba de producción

La segunda prueba de producción se realiza los días 28 y 29 de Septiembre de 1999, con un equipo de la empresa Aformhidro. La instalación empleada consiste en un grupo motobomba marca Worthington modelo 10MS507 con una potencia de 207 CV y una impulsión de \varnothing 175 mm, quedando la rejilla de la bomba a 178 m de profundidad.

Desarrollo del bombeo

En la figura 10 se presenta el desarrollo completo de la prueba, incluyéndose las tablas con todos los datos recopilados en el Anexo 1. En primer lugar se realiza un bombeo escalonado con los mismos caudales que en la prueba de Febrero con objeto de estimar la mejora del rendimiento del pozo que han ocasionado las operaciones de desarrollo. El primer escalón, con un caudal de 7 l/s, deprime el nivel hidráulico desde la cota inicial a 25,18 m hasta una profundidad de 39,61 m en un plazo de 120 minutos.

Al término de los mismos, y con pendientes en el descenso de unos 4 cm/min, se cambia al segundo escalón, de 12 l/s; que deprime el nivel hasta el metro 61,35 a los 120 min de iniciado. La pendiente en este punto continúa siendo elevada, unos 8 cm/min, aunque muy inferior a la de la primera hora del escalón, con una velocidad media del descenso de 31 cm/min.



2º Bombeo Zikujano-B, Qb= 12 l/s

El agua sale en todo momento turbia aunque con tendencia a aclarar al final de cada escalón. El caudal elegido para el tercer escalón, 20 l/s, se reduce a 15 l/s a los 45' del comienzo ante la importancia de los descensos, el nivel se deprime hasta 108,54 m, y el incremento continuo de los arrastres. La pendiente de los descensos en este punto es de 59 cm/min, algo inferior a la global del tramo (106 cm/min).

La disminución del caudal bombeado reduce la pendiente, pero el nivel en el pozo no tiende a la estabilización cuando se para el bombeo a los 300 minutos del escalón, con el nivel dinámico a 124,93 m, pendientes de descenso de 7 cm/min y el agua con importantes arrastres de arenas y limos.

La recuperación posterior del nivel se controla durante 1 hora. Se reconoce la presencia de un chorro colgado de agua importante que deja de oírse por completo al llegar el nivel a una profundidad de 59 m. A las 19:00h, con el nivel hidráulico a 48,90 m de profundidad, se inicia el bombeo con un caudal constante de 12 l/s que se mantiene hasta las 9:00h del día 29. En este punto, con el nivel dinámico a 112,31 m, velocidades de descenso de más de 1 cm/min y el agua muy turbia, con importantes arrastres, se decide la parada del bombeo y el fin de las pruebas previstas.

Análisis de la prueba

En la figura 11 se compara la evolución del nivel dinámico en el sondeo durante los tres bombeos escalonados realizados. Las principales observaciones que

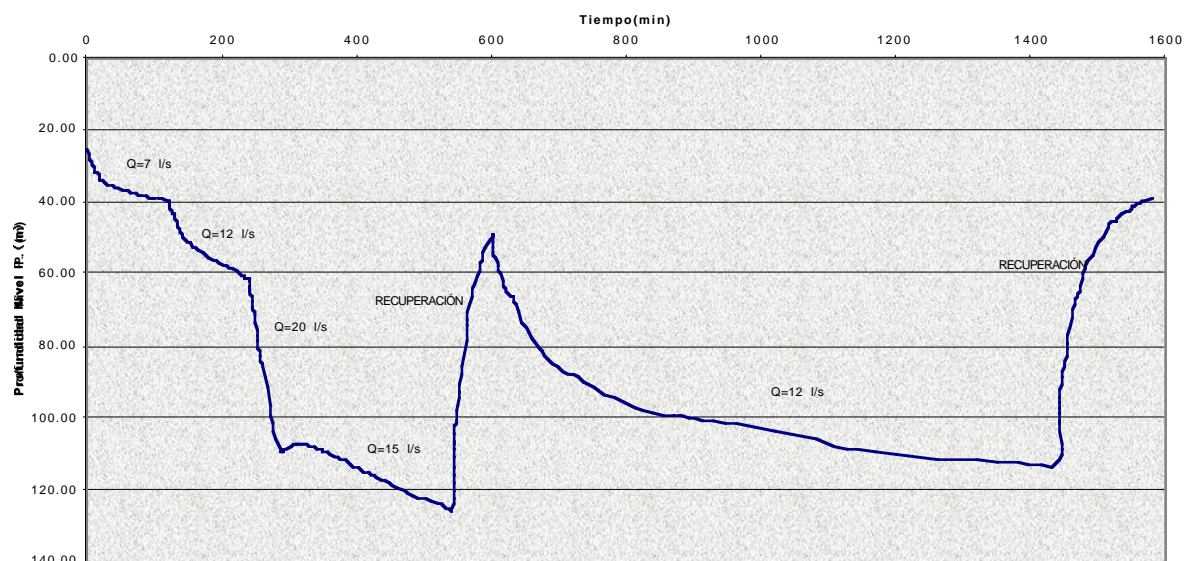


Figura 10. Desarrollo de la 2ª prueba de producción

facilita son:

- ◊ La clara mejoría que se observa entre el 1º y el 2º bombeo escalonado desaparece en el 3º. Este efecto es más evidente con el incremento del caudal bombeado.
- ◊ El escalón de 7 l/s genera una depresión de unos 5 m más que en el segundo bombeo de Febrero para el escalón de 12 l/s; una vez compensado el exceso de bombeo del 1º escalón, esta diferencia es ya de unos 15 m
- ◊ En el 3º escalón esta diferencia supera los 40 m produciéndose el desplome del nivel dinámico
- ◊ El 3º escalón del bombeo del 18 de Febrero registra cierta capacidad de recuperación del nivel ante la reducción del caudal bombeado. Así, al reducir el caudal de 20 a 17 l/s, el nivel dinámico recupera lentamente desde 104,50 m hasta 103,71 m
- ◊ Por el contrario, el bombeo de Septiembre responde, con la reducción del caudal de 20 a 15 l/s, con una suave recuperación que se trunca a los pocos minutos continuando el descenso hasta los 125 m, con una pendiente menor pero linealmente, sin aspecto de estabilizarse
- ◊ El bombeo escalonado permite concluir que las operaciones de desarrollo mediante acidificación y air-lift no han tenido el efecto deseado y no han sido capaces siquiera de compensar el agotamiento del sistema por el paso de unas condiciones hidrológicas de aguas altas a una situación de estiaje.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo escalonado, se realiza un bombeo con un caudal constante de 12 l/s, que permita estudiar la evolución del nivel y de la calidad del agua para un tiempo de bombeo más prolongado. Los resultados en escala semilogarítmica se presentan en la figura 12.

Como se puede observar, la transmisividad calculada es baja, algo inferior a 6 m²/día, muy parecida por tanto a la obtenida con los datos de recuperación del primer ensayo de bombeo aunque inferior a la calculada durante las diagráfias en producción.

Durante la realización de esta prueba se ha equipado el piezómetro Zikujano-2 con un sistema de adquisición automático de datos. En la figura 13 se presenta el registro obtenido.

Se observa la afección generada por el bombeo de Zikujano-B, que ocasiona una curva de descensos similar a la del pozo de bombeo. El bombeo escalonado genera el descenso del nivel desde

Construcción del Sondeo de Explotación ZIKUJANO -B

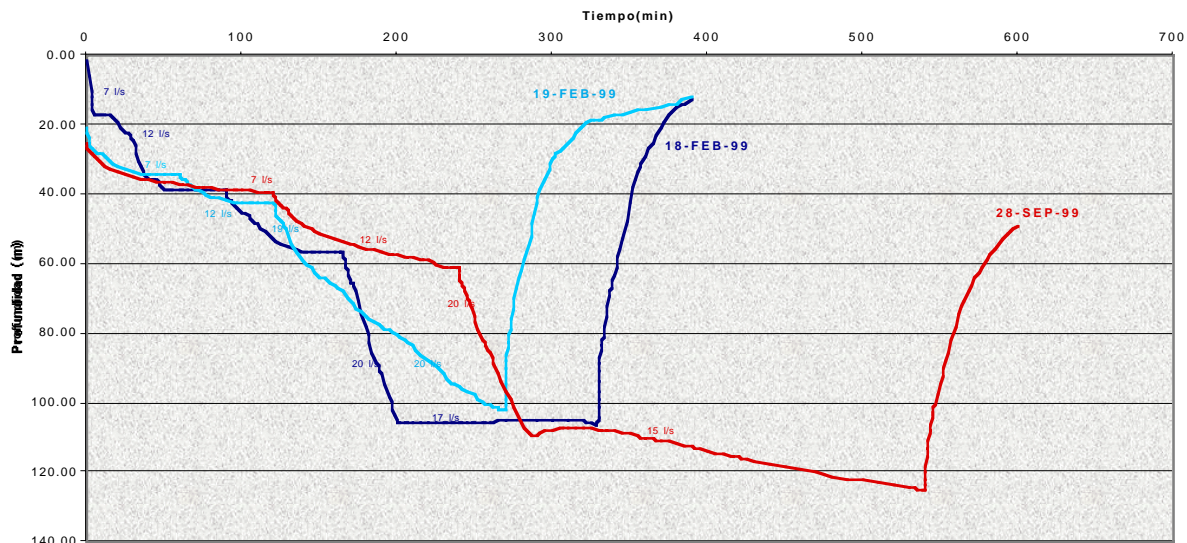


Figura 11. Comparación de los tres bombeos escalonados en Zikujano-B

17,03 m hasta 22,50 m, interrumpiéndose en este punto el descenso y observándose una pequeña recuperación por el cese del bombeo que se trunca rápidamente por la afección del nuevo bombeo a caudal constante. Este bombeo ocasiona el descenso continuo del nivel, totalizando una depresión máxima de 7,50 m en el momento de la parada final.

Dada la distancia a la que se sitúa el piezómetro, el tiempo requerido para poder aplicar Jacob en el cálculo de la transmisividad es de 500 minutos, por lo

que únicamente el tramo final de la curva de descensos es utilizable, lo que proporciona un valor de la transmisividad de 20 m²/día.

La importancia de los arrastres observada durante toda la prueba y la corta duración de la misma impide el cálculo en condiciones de cierta exactitud, aunque los tanteos realizados arrojan valores en torno a 10⁻⁴.

La recuperación final ofrece, como se observa en la figura 14, un valor de la

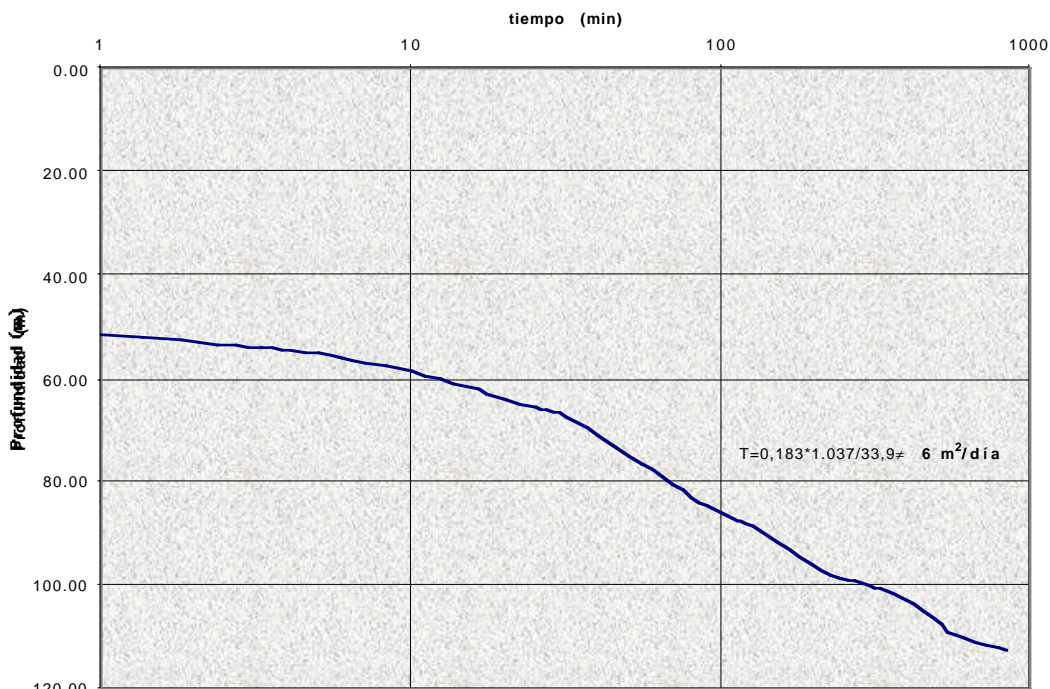
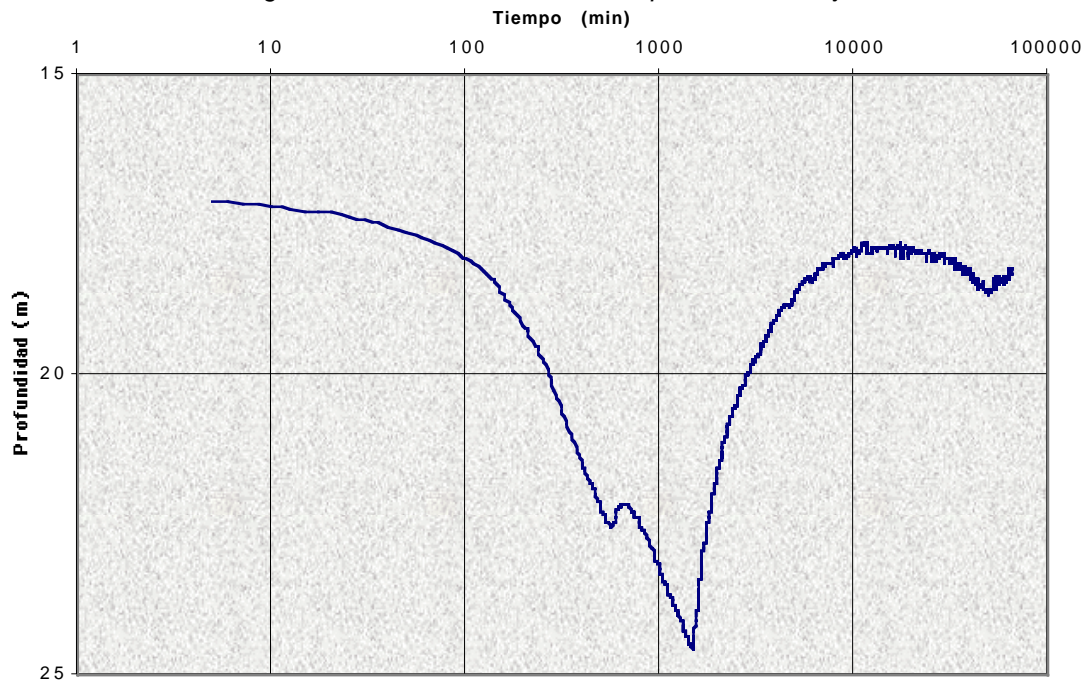


Figura 12. Bombeo a caudal constante Qb=12 l/s

Figura 13. Evolución del nivel en el piezómetro Zikujano-2



transmisividad, para el tramo principal de la curva, de $4 \text{ m}^2/\text{día}$, similar a la obtenida durante el bombeo.

Por lo tanto, parece evidente la existencia de dos niveles productivos principales. El más superficial tiene una transmisividad en torno a $20 \text{ m}^2/\text{día}$, su funcionamiento es libre y queda descolgado con el abatimiento del nivel en el sondeo por debajo de los 60 m. El más pro-

fundo, con una transmisividad de unos $4 \text{ m}^2/\text{día}$, se encuentra marcadamente confinado, presentando un coeficiente de almacenamiento que se estima próximo a 10^{-4} .

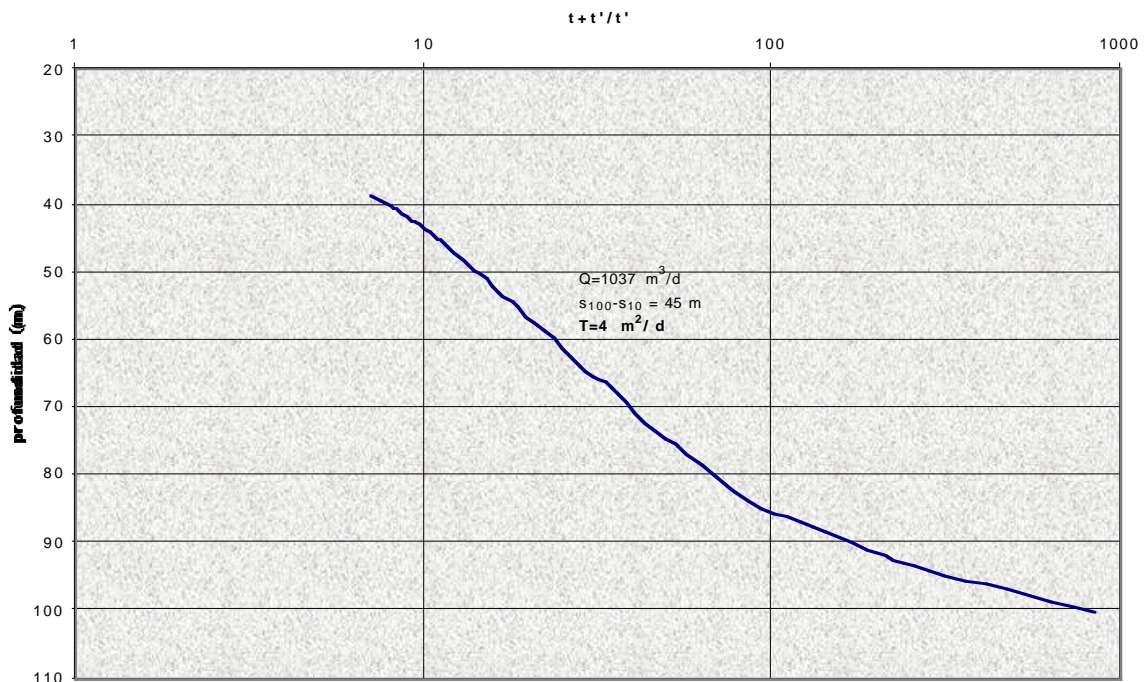


Figura 14. Recuperación en el pozo de bombeo al término de la prueba

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El sondeo Zikujano-B se ha perforado entre Octubre de 1998 y Marzo de 1999 alcanzando una profundidad final de 310 m.

La columna atravesada ha consistido en calizas y dolomías del Thanetineses, margas y dolomías del Montienese y dolomías del Danés, cortándose, desde el metro 273, areniscas y microconglomerados del techo del Maastrichtiense. El sondeo ha sido objeto de dos ensayos de bombeo, registro videográfico, diagráfos y distintas operaciones de desarrollo, consistentes en acidificación y *air-lift*. Una vez finalizados los trabajos se pueden realizar las siguientes consideraciones:

La producción aparece asociada a dos zonas principales:

- Zona superficial, entre los metros 30 y 60 de las calizas thanetienses, caracterizada por una transmisividad próxima a 20 m²/día. La permeabilidad por fisuración y karstificación se ve reducida de un modo muy importante por colmatación con depósitos de terrígenos porcedentes de las formaciones suprayacentes, especialmente la formación Laminoria. El funcionamiento de esta zona productiva es libre y se observan, según progresan los descensos, fenómenos de desanegación que originan una notable merma de la productividad reduciéndose el caudal específico de 0,6 l/s/m a menos de 0,25 l/s/m cuando el nivel desciende por debajo del metro 60.
- Zona inferior, constituida por las dolomías recristalizadas danienses que se atraviesan entre los metros 229 y 273. Presenta una transmisividad de unos 4 m²/día y un coeficiente de almacenamiento característico de un marcado confinamiento, del orden de 10⁻⁴.

El entorno del sondeo experimenta un importante desarrollo por descolmatación de las superficies de aporte en las calizas thanetienses durante el primer bombeo de limpieza. El caudal de ex-

plotación en aguas altas es de 20 l/s con un agua con mínimos arrastres, lo que induce a desarrollar el sondeo con un objetivo de caudal de explotación de 30 l/s.

El intento de desarrollo se realiza mediante inyección de 15 Tm de ácido clorhídrico al 33% y posterior *air lift* con inyección de aire comprimido a alta presión (30 atm).

La prueba de producción final, realizada en Septiembre de 1999 en condiciones de marcado estiaje, revela el escaso efecto de las operaciones de desarrollo realizadas. Los parámetros del sondeo no mejoran y permanecen básicamente condicionados por las condiciones hidrológicas.

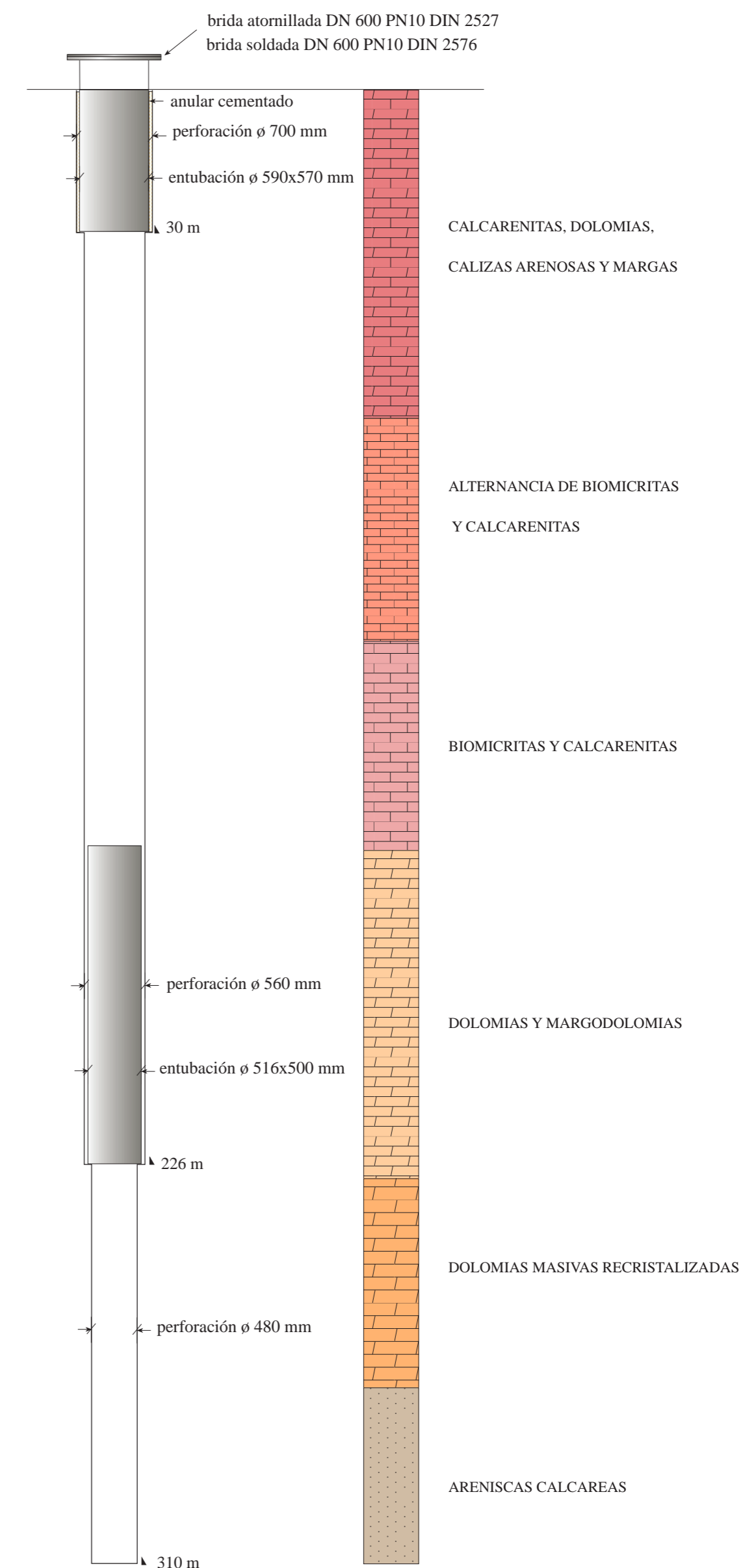
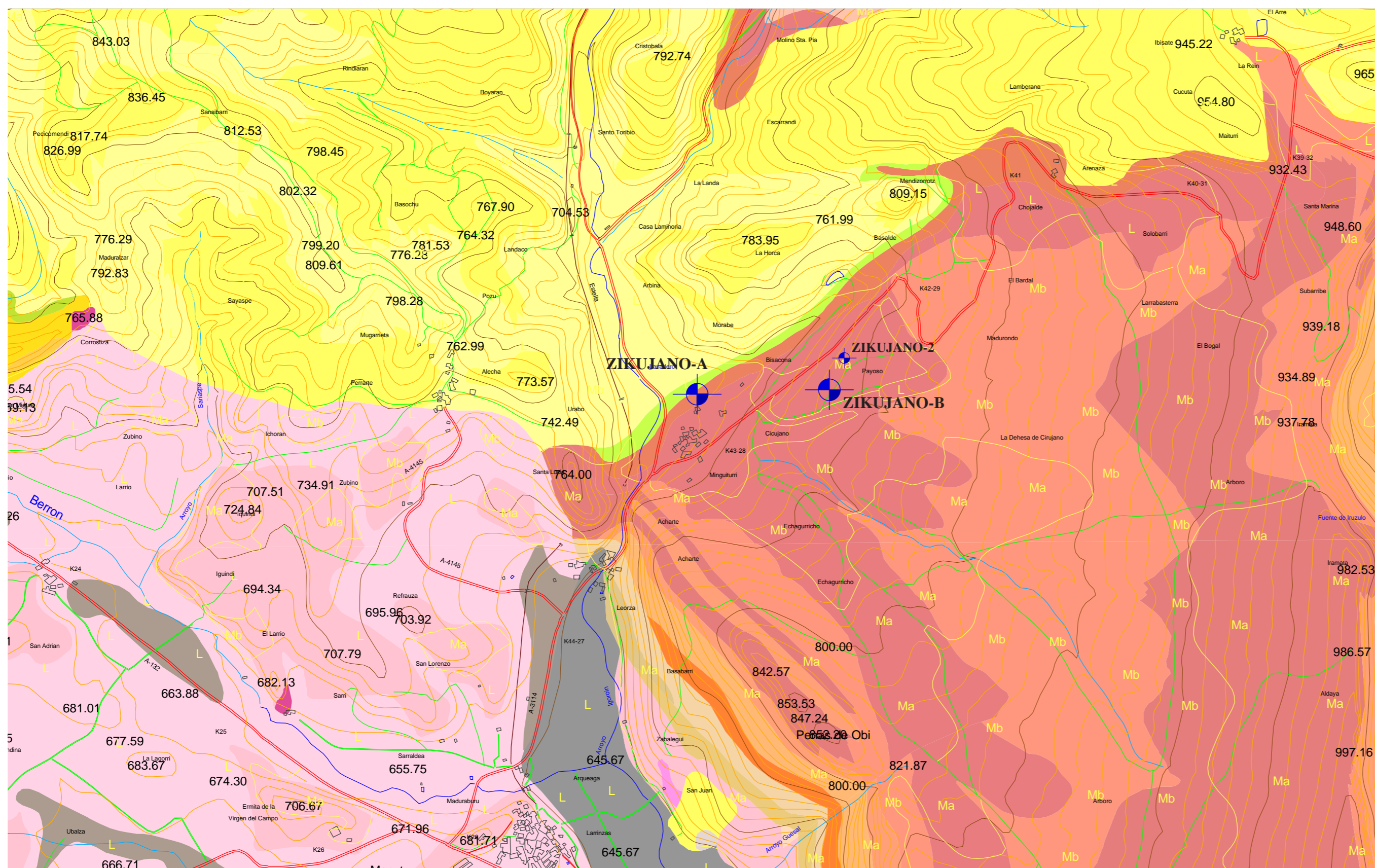
Así, se manifiesta una importante pérdida de rendimiento del sondeo con respecto a lo obtenido en la prueba de febrero, comprobándose la existencia de importantes arrastres de arcilla y arena con caudales de bombeo anteriormente ensayados con agua limpia.

Este hecho debe asociarse con la extensión, a áreas más amplias que en aguas altas, de los procesos de desanegación en la zona superior y la consiguiente generalización de las escorrentías que ocasionan la erosión de relleños más distales y el aporte al sondeo de estos materiales. El final de este proceso de lavado de los depósitos no se puede prever. Es más que probable que este desarrollo no permanezca estable y que la saturación de estas zonas durante las aguas altas y los sucesivos ciclos de bombeo generen la aportación de relleños procedentes de un área muy amplia del acuífero.

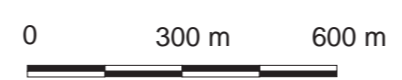
De este modo, el caudal de agua limpia del sondeo en condiciones de estiaje es inferior a 12 l/s, estimándose que la eliminación de los arrastres precisa el sellado de la zona de aporte superior, al menos hasta la profundidad máxima de descenso prevista: 120-130 m. En estas circunstancias, el caudal del sondeo se reduciría prácticamente al aportado por las dolomías danienses. De acuerdo con los parámetros calculados para este acuífero, el caudal teórico para un descenso de 120 m ascendería a unos 6 l/s

lo que se considera a todas luces insuficiente para los fines objeto de la obra.

En consecuencia, se considera que el sondeo Zikujano-B es negativo para los fines de aportación adicional de recurso a la infraestructura de recarga de emergencia del Sistema Zadorra. No obstante, el sondeo se considera adecuado para otros usos más restringidos, aunque menos probables, como puede ser el abastecimiento de Zikujano y otros núcleos del entorno.



<ul style="list-style-type: none"> TERRAZAS FLUVIALES ALUVIAL 	CUATERNARIO
<ul style="list-style-type: none"> MARGAS Y ARCILLAS ORTOCONGLOMERADO CALCAREO, ARENISCAS, CALCARENTITAS, LIMOLITAS Y ARCILLAS LIMOLITAS, ARCILLAS, ARENISCAS Y NIVELES CONGLOMERÁTICOS 	MIOCENO
<ul style="list-style-type: none"> MARGOCALIZAS, CALIZAS BRECHOIDES Y MARGAS CALIZAS, ARENISCAS Y LIMOLITAS CALCARENTITAS DE FORAMINIFEROS 	EOCENO
<ul style="list-style-type: none"> ARENISCAS CALCAREAS MICROCONGLOMERÁTICAS Y ARENAS CALCARENTITAS, DOLOMIAS, CALIZAS ARENOSAS Y MARGAS CALCARENTITAS BIOCLÁSTICAS CALCARENTITAS BRECHOIDES ALTERNANCIA DE BIOMICRITAS Y CALCARENTITAS BIOMICRITAS Y CALCARENTITAS DOLOMIAS, MARGODOLOMIAS, MONTIENSE DOLOMIAS MASIVAS RECRISTALIZADAS, DANIENSE 	TRIÁSICO
<ul style="list-style-type: none"> OFITAS ARCILLAS ROJAS, VERDES Y GRISES. YESOS CALIZAS, DOLOMIAS, MARGOCALIZAS Y LIMOLITAS 	TRIÁSICO



**Construcción y pruebas de producción del sondeo
ZIKUJANO-B**



ANEXO A.1

Pruebas de producción en el sondeo ZIKUJANO-B

Bombeo Escalonado				febr-99				Bomba a 135m.		
Sondeo ZIKUJANO-B					Estático	1.37				
<i>Comienzo</i>				<i>Pozo</i>		<i>Sondeo Zkj-b</i>				
<i>18/2/1999</i>	<i>10:00</i>	<i>T parcial</i>	<i>T total</i>	<i>Prof(m)</i>	<i>Dep(m)</i>	<i>Q(l/s)</i>	<i>Prof(m)</i>	<i>Dep(m)</i>	<i>T+T'/T'</i>	<i>Observaciones</i>
18/2/1999	10:00			1.37		0-20				
18/2/1999	10:05	5	5	16.48	15.11	≠6.50				Agua muy turbia
18/2/1999	10:07	7	7	17.13	15.76					Agua muy turbia
18/2/1999	10:10	10	10	17.12	15.75					Arrastre arena
18/2/1999	10:15	15	15	17.20	15.83					
18/2/1999	10:20	20	20	18.89	17.52					
18/2/1999	10:25	25	25	21.86	20.49					
18/2/1999	10:30	30	30	24.02	22.65					
18/2/1999	10:35	35	35	32.25	30.88					
18/2/1999	10:40	40	40	35.01	33.64					
18/2/1999	10:45	45	45	35.90	34.53					
18/2/1999	10:50	50	50	38.36	36.99					
18/2/1999	10:55	55	55	38.38	37.01					Zkj-2 >3m
18/2/1999	11:00	60	60	38.34	36.97					
18/2/1999	11:05	65	65	38.34	36.97					
18/2/1999	11:10	70	70	38.38	37.01	6.50				
18/2/1999	11:15	75	75	38.37	37.00					
18/2/1999	11:20	80	80	38.35	36.98					
18/2/1999	11:30	90	90	38.29	36.92					
18/2/1999	11:31	1	91	40.60	39.23	12.00				
18/2/1999	11:33	3	93	41.71	40.34					
18/2/1999	11:35	5	95	42.80	41.43					
18/2/1999	11:37	7	97	43.59	42.22					
18/2/1999	11:40	10	100	44.81	43.44					
18/2/1999	11:45	15	105	46.15	44.78					
18/2/1999	11:47	17	107	47.64	46.27					
18/2/1999	11:50	20	110	48.42	47.05					
18/2/1999	11:55	25	115	50.44	49.07					
18/2/1999	12:00	30	120	52.43	51.06					
18/2/1999	12:05	35	125	54.18	52.81					
18/2/1999	12:10	40	130	55.10	53.73					
18/2/1999	12:15	45	135	55.90	54.53					
18/2/1999	12:20	50	140	56.39	55.02					
18/2/1999	12:25	55	145	56.47	55.10					
18/2/1999	12:30	60	150	56.50	55.13					
18/2/1999	12:35	65	155	56.48	55.11					
18/2/1999	12:40	70	160	56.45	55.08					Zkj-2 ≈2.5 m
18/2/1999	12:45	75	165	56.46	55.09					
18/2/1999	12:46	1	166	58.15	56.78	20.00				
18/2/1999	12:48	3	168	61.80	60.43					
18/2/1999	12:50	5	170	64.57	63.20					
18/2/1999	12:52	7	172	65.90	64.53					
18/2/1999	12:55	10	175	70.80	69.43					
18/2/1999	13:00	15	180	78.17	76.80					Zkj-2 +0.5m
18/2/1999	13:05	20	185	87.12	85.75					
18/2/1999	13:10	25	190	91.80	90.43					
18/2/1999	13:15	30	195	97.95	96.58					336µS/cm
18/2/1999	13:20	35	200	104.91	103.54					Zkj-2 330 µS/cm
18/2/1999	13:25	40	205	105.88	104.51					Arroyo 270 µS/cm
18/2/1999	13:30	45	210	105.86	104.49					
18/2/1999	13:35	50	215	105.86	104.49	17.00				
18/2/1999	13:40	55	220	105.86	104.49					
18/2/1999	13:45	60	225	105.87	104.50					
18/2/1999	13:50	65	230	105.87	104.50					341µS/cm
18/2/1999	13:55	70	235	105.88	104.51					
18/2/1999	14:00	75	240	105.64	104.27					
18/2/1999	14:05	80	245	105.68	104.31					
18/2/1999	14:10	85	250	105.62	104.25					
18/2/1999	14:15	90	255	105.65	104.28					
18/2/1999	14:20	95	260	105.59	104.22					
18/2/1999	14:30	105	270	105.30	103.93					
18/2/1999	14:40	115	280	105.21	103.84					
18/2/1999	14:50	125	290	105.21	103.84					
18/2/1999	15:00	135	300	105.15	103.78					
18/2/1999	15:10	145	310	105.18	103.81					
18/2/1999	15:20	155	320	105.17	103.80					
18/2/1999	15:30	165	330	105.08	103.71					
18/2/1999	15:31	1	331	86.90	85.53				338.00	RECUPERACION
18/2/1999	15:33	3	333	80.72	79.35				113.33	
18/2/1999	15:35	5	335	75.47	74.10				68.40	
18/2/1999	15:37	7	337	69.37	68.00				49.14	
18/2/1999	15:40	10	340	63.40	62.03				34.70	
18/2/1999	15:45	15	345	52.61	51.24				23.47	
18/2/1999	15:50	20	350	42.41	41.04				17.85	
18/2/1999	15:55	25	355	33.53	32.16				14.48	

Bombeo Escalonado				febr-99		Bomba a 135m.	
Sondeo ZIKUJANO-B				Estático	1.37		
<i>Comienzo</i>		<i>Pozo</i>		<i>Sondeo Zkj-b</i>			
18/2/1999 16:00	30	360	28.90	27.53			12.23
18/2/1999 16:05	35	365	25.16	23.79			10.63
18/2/1999 16:10	40	370	20.73	19.36			9.43
18/2/1999 16:15	45	375	17.12	15.75			8.49
18/2/1999 16:20	50	380	14.96	13.59			7.74
18/2/1999 16:25	55	385	13.50	12.13			7.13
18/2/1999 16:30	60	390	12.29	10.92			6.62
18/2/1999 16:32	2	392	25.39	24.02	20.00		
18/2/1999 16:34	4	394	27.05	25.68			
18/2/1999 16:36	6	396	29.14	27.77			
18/2/1999 16:38	8	398	33.17	31.80			
18/2/1999 16:40	10	400	38.46	37.09			
18/2/1999 16:45	15	405	44.27	42.90			
18/2/1999 16:50	20	410	51.07	49.70			
18/2/1999 16:55	25	415	56.23	54.86			
18/2/1999 17:00	30	420	60.65	59.28			
18/2/1999 17:05	35	425	64.81	63.44			
18/2/1999 17:10	40	430	66.68	65.31			
18/2/1999 17:15	45	435	69.62	68.25			
18/2/1999 17:20	50	440	73.32	71.95			
18/2/1999 17:25	55	445	75.04	73.67			
18/2/1999 17:30	60	450	79.33	77.96			
18/2/1999 17:40	70	460	85.80	84.43			
18/2/1999 17:50	80	470	92.46	91.09			
18/2/1999 18:00	90	480	97.42	96.05			
18/2/1999 18:10	100	490	101.90	100.53			
18/2/1999 18:20	110	500	106.19	104.82			
18/2/1999 18:30	120	510	109.27	107.90			
18/2/1999 18:40	130	520	110.50	109.13			
18/2/1999 18:50	140	530	113.24	111.87			
18/2/1999 19:10	160	550	118.83	117.46			
18/2/1999 19:20	170	560	119.31	117.94	19.00		
18/2/1999 19:30	180	570	119.25	117.88			Zkj-2= 0m
18/2/1999 19:40	190	580	119.18	117.81			
18/2/1999 19:50	200	590	119.23	117.86			
18/2/1999 20:00	210	600	119.24	117.87			
18/2/1999 20:10	220	610	119.23	117.86			
18/2/1999 20:30	240	630	119.18	117.81			
18/2/1999 21:00	270	660	119.92	118.55			
18/2/1999 21:30	300	690	119.90	118.53			
18/2/1999 22:00	330	720	119.69	118.32			
18/2/1999 22:30	360	750	119.60	118.23			
18/2/1999 23:00	390	780	119.58	118.21			
18/2/1999 23:30	420	810	119.32	117.95			
19/2/1999 00:00	450	840	119.42	118.05			
19/2/1999 01:00	510	900	119.98	118.61	19.00		
19/2/1999 02:00	570	960	119.86	118.49			
19/2/1999 03:00	630	1020	119.79	118.42			
19/2/1999 04:00	690	1080	119.62	118.25			
19/2/1999 05:00	750	1140	119.45	118.08			
19/2/1999 06:00	810	1200	119.28	117.91			Agua con fuerte tono
19/2/1999 07:00	870	1260	119.24	117.87			
19/2/1999 08:00	930	1320	119.19	117.82			
19/2/1999 09:00	990	1380	119.06	117.69			
19/2/1999 09:30	1020	1410	119.00	117.63			zkj-2 3.87m
19/2/1999 10:00	1050	1440	118.94	117.57			
19/2/1999 10:30	1080	1470	119.04	117.67			
19/2/1999 10:31	1	1471	100.60	99.23			1471.00 RECUPERACION
19/2/1999 10:33	3	1473	94.48	93.11			491.00
19/2/1999 10:35	5	1475	88.00	86.63			295.00
19/2/1999 10:37	7	1477	81.36	79.99			211.00
19/2/1999 10:40	10	1480	73.79	72.42			148.00 ZKJ-2 3.97
19/2/1999 10:45	15	1485	63.02	61.65			99.00
19/2/1999 10:50	20	1490	53.45	52.08			74.50
19/2/1999 10:55	25	1495	44.41	43.04			59.80
19/2/1999 11:00	30	1500	37.31	35.94			50.00
19/2/1999 11:05	35	1505	32.34	30.97			43.00
19/2/1999 11:10	40	1510	29.37	28.00			37.75
19/2/1999 11:15	45	1515	26.77	25.40			33.67
19/2/1999 11:20	50	1520	25.02	23.65			30.40
19/2/1999 11:25	55	1525	22.43	21.06			27.73
19/2/1999 11:30	60	1530	20.81	19.44			25.50
19/2/1999 11:32	2	1532	26.00	24.63	7.00		2º Escalonado
19/2/1999 11:34	4	1534	26.65	25.28			
19/2/1999 11:37	7	1537	27.75	26.38			
19/2/1999 11:40	10	1540	28.52	27.15			

Bombeo Escalonado				febr-99		Bomba a 135m.		
Sondeo ZIKUJANO-B					Estático	1.37		
<i>Comienzo</i>			<i>Pozo</i>			<i>Sondeo Zkj-b</i>		
19/2/1999	11:45	15	1545	30.24	28.87			
19/2/1999	11:50	20	1550	31.74	30.37			
19/2/1999	11:55	25	1555	32.77	31.40			
19/2/1999	12:00	30	1560	33.33	31.96			
19/2/1999	12:05	35	1565	33.98	32.61			
19/2/1999	12:10	40	1570	33.85	32.48			
19/2/1999	12:15	45	1575	33.79	32.42			
19/2/1999	12:20	50	1580	33.74	32.37			
19/2/1999	12:25	55	1585	33.74	32.37			
19/2/1999	12:30	60	1590	33.70	32.33			
19/2/1999	12:31	1	1591	34.71	33.34	12.00		Cambio caudal
19/2/1999	12:33	3	1593	35.60	34.23			
19/2/1999	12:35	5	1595	36.43	35.06			
19/2/1999	12:37	7	1597	37.25	35.88			
19/2/1999	12:40	10	1600	38.22	36.85			
19/2/1999	12:45	15	1605	39.18	37.81			
19/2/1999	12:50	20	1610	40.54	39.17			
19/2/1999	12:55	25	1615	41.02	39.65			
19/2/1999	13:00	30	1620	41.67	40.30			
19/2/1999	13:05	35	1625	42.00	40.63			
19/2/1999	13:10	40	1630	42.17	40.80			
19/2/1999	13:15	45	1635	42.20	40.83			
19/2/1999	13:20	50	1640	42.45	41.08			
19/2/1999	13:25	55	1645	42.45	41.08			
19/2/1999	13:30	60	1650	42.45	41.08			
19/2/1999	13:32	2	1652	44.31	42.94	19.00		Cambio caudal
19/2/1999	13:34	4	1654	46.58	45.21			
19/2/1999	13:37	7	1657	48.18	46.81			
19/2/1999	13:40	10	1660	51.97	50.60			
19/2/1999	13:45	15	1665	56.20	54.83			
19/2/1999	13:50	20	1670	59.10	57.73			
19/2/1999	13:55	25	1675	61.32	59.95			
19/2/1999	14:01	31	1681	63.74	62.37			ZKJ-2 1.83
19/2/1999	14:05	35	1685	64.95	63.58			
19/2/1999	14:10	40	1690	66.03	64.66			
19/2/1999	14:15	45	1695	68.02	66.65			
19/2/1999	14:22	52	1702	71.24	69.87			
19/2/1999	14:27	57	1707	73.70	72.33			
19/2/1999	14:30	60	1710	75.00	73.63			
19/2/1999	14:35	65	1715	76.56	75.19			
19/2/1999	14:40	70	1720	78.03	76.66			
19/2/1999	14:45	75	1725	79.00	77.63			
19/2/1999	14:50	80	1730	80.24	78.87			353 µS/cm
19/2/1999	14:55	85	1735	81.81	80.44			
19/2/1999	15:00	90	1740	83.58	82.21	20.00		Cambio caudal
19/2/1999	15:05	95	1745	85.90	84.53			
19/2/1999	15:10	100	1750	87.98	86.61			
19/2/1999	15:15	105	1755	89.49	88.12			
19/2/1999	15:20	110	1760	91.60	90.23			
19/2/1999	15:25	115	1765	94.43	93.06			
19/2/1999	15:30	120	1770	95.05	93.68			
19/2/1999	15:35	125	1775	96.31	94.94			
19/2/1999	15:40	130	1780	97.72	96.35			
19/2/1999	15:45	135	1785	99.32	97.95			
19/2/1999	15:50	140	1790	100.55	99.18			
19/2/1999	15:55	145	1795	101.43	100.06			
19/2/1999	16:00	150	1800	101.90	100.53			
19/2/1999	16:01	1	1801	86.14	84.77		1801.00	RECUPERACION
19/2/1999	16:03	3	1803	79.12	77.75		601.00	
19/2/1999	16:05	5	1805	72.89	71.52		361.00	
19/2/1999	16:07	7	1807	66.96	65.59		258.14	
19/2/1999	16:10	10	1810	61.57	60.20		181.00	Zkj 2: 2.80
19/2/1999	16:15	15	1815	54.57	53.20		121.00	
19/2/1999	16:20	20	1820	42.70	41.33		91.00	
19/2/1999	16:25	25	1825	35.39	34.02		73.00	
19/2/1999	16:30	30	1830	29.84	28.47		61.00	
19/2/1999	16:35	35	1835	27.38	26.01		52.43	
19/2/1999	16:40	40	1840	25.31	23.94		46.00	
19/2/1999	16:46	46	1846	21.85	20.48		40.13	
19/2/1999	16:50	50	1850	19.70	18.33		37.00	
19/2/1999	16:55	55	1855	18.70	17.33		33.73	
19/2/1999	17:00	60	1860	18.47	17.10		31.00	
19/2/1999	17:10	70	1870	17.17	15.80		26.71	
19/2/1999	17:20	80	1880	15.90	14.53		23.50	
19/2/1999	17:30	90	1890	15.05	13.68		21.00	
19/2/1999	17:40	100	1900	14.42	13.05		19.00	

Bombeo Escalonado				febr-99		Bomba a 135m.	
Sondeo ZIKUJANO-B				Estático		1.37	
<i>Comienzo</i>				<i>Pozo</i>		<i>Sondeo Zkj-b</i>	
19/2/1999 17:50	110	1910	13.60	12.23			17.36
19/2/1999 18:00	120	1920	11.38	10.01			16.00
20/2/1999 08:15	975	2775	2.90	1.53			2.85

ANEXO A.2

Inspección endoscópica y diagráfías en el sondeo ZIKUJANO-B