

**ACTUACIONES DE USO CONJUNTO Y RECARGA
ARTIFICIAL ENCAMINADAS A MEJORAR LA GESTIÓN
MEDIOAMBIENTAL Y EL USO SOSTENIBLE
DE LOS ACUÍFEROS LIGADOS A LA ARTERIA
TRANSVERSAL DE LA ISLA DE MALLORCA**



**INFORME SOBRE EL BOMBEO DE ENSAYO
REALIZADO EN EL ACUÍFERO DE CRESTATX
EN ABRIL DE 2007**

Diciembre de 2007





INFORME	Identificación: H4/001/09
	Fecha: Diciembre 2007
TÍTULO INFORME SOBRE EL BOMBEO DE ENSAYO REALIZADO EN EL ACUÍFERO DE CRESTATX EN ABRIL DE 2007	
PROYECTO ACTUACIONES DE USO CONJUNTO Y RECARGA ARTIFICIAL ENCAMINADAS A MEJORAR LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL Y EL USO SOSTENIBLE DE LOS ACUÍFEROS LIGADOS A LA ARTERIA TRANSVERSAL DE LA ISLA DE MALLORCA	
RESUMEN <p>Dentro del Convenio Específico entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Comunidad Autónoma de Les Illes Balears para la realización de trabajos y estudios hidrogeológicos en las islas, vigente hasta el año 2008, el IGME está desarrollando en la actualidad el proyecto titulado "Actuaciones de uso conjunto y recarga artificial encaminadas a mejorar la gestión medioambiental y el uso sostenible de los acuíferos ligados a la arteria transversal de la Isla de Mallorca".</p> <p>Uno de los objetivos de dicho proyecto es la construcción y puesta en marcha de la recarga artificial del acuífero de Crestatx. Dicha instalación de recarga tomará el agua de los excedentes provenientes de las Ufanes de Gabellí, y lo conducirá a una instalación de almacenamiento y decantación intermedia, que será una cantera abandonada conocida con el nombre de coma de S'Aigua, dentro del termino municipal de Campanet, desde donde será posteriormente enviada a los sondeos profundos de recarga.</p> <p>Dentro de los trabajos de diseño de la instalación, es imprescindible conocer las características hidráulicas del acuífero de Crestatx. Y para ello, es preciso realizar un bombeo de ensayo de larga duración que permita conocer la información necesaria. Dicho ensayo se ha llevado a cabo en el sondeo de 250 m de profundidad conocido como Ca Na Mora II con NPA 392631726. En el presenta informe se presentan los resultados obtenidos de la interpretación d edicho ensayo. Para la interpretación, se han utilizado tres métodos diferentes, comparándose entre sí los resultador proporcionados por cada uno y estableciendo criterios de validez de cada uno de ellos.</p>	
Revisión Nombre: José Manuel Murillo Díaz Unidad: Dpto. Investigación y Prospectiva Geocientífica Fecha: Junio 2007	Autores: José Antonio Gómez López José María López García Responsable: José Antonio de la Orden Gómez

Este informe ha sido elaborado dentro del Convenio de colaboración suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Gobierno Balear, para el estudio de las aguas subterráneas en el archipiélago balear cuyo seguimiento administrativo realizan D^a Rosa María Mateos (IGME) y D. Alfredo Barón (Gobierno Balear). El informe se integra dentro del proyecto titulado "ACTUACIONES DE USO CONJUNTO Y RECARGA ARTIFICIAL ENCAMINADAS A MEJORAR LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL Y EL USO SOSTENIBLE DE LOS ACUÍFEROS LIGADOS A LA ARTERIA TRANSVERSAL DE LA ISLA DE MALLORCA". Los trabajos realizados han sido dirigidos por D. José Antonio de la Orden (IGME) y D. José Manuel Murillo Díaz (IGME).

Las labores de campo han sido dirigidas por D. José Antonio Gómez López (IGME), y realizadas por D. José Antonio Gómez López (IGME), D. José María López García (IGME), D^a Almudena de la Losa Román (IGME), D. Carlos Ontiveros Beltranena (IGME) y D^a Gema Ortiz Villalobos (IGME).

La elaboración del informe ha corrido a cargo de D. José Antonio Gómez López (IGME) y D. Antonio Azcón (IGME), y la supervisión e integración de todas las interpretaciones en un mismo documento ha sido realizada por D. José Antonio de la Orden (IGME)

INDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS
- 2.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA
- 3.- HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA
- 4.- EQUIPOS UTILIZADOS
- 5.- CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS
- 6.- DESARROLLO DE LOS BOMBEO
- 7.- INTERPRETACIÓN DEL BOMBEO DE ENSAYO Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS DEL ACUÍFERO
 - 7.1.- MÉTODO DE THEIS UTILIZANDO EL PROGRAMA DE INTERPRETACIÓN DE BOMBEO DE ENSAYO PIBE 2.0, DESARROLLADO POR LA DIPUTACIÓN DE ALICANTE.
 - 7.2.- MÉTODO DE JACOB
 - 7.3.- CALIBRACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA "MABE" (MÉTODO DIRECTO)
- 8.- CONCLUSIONES
- 9.- REFERENCIAS
- 10.- ANEXOS
 - ANEXO I: FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL IGME DE LOS PUNTOS UTILIZADOS EN ESTE ENSAYO.
 - ANEXO II: DATOS DE DESCENSOS Y ASCENSOS EN POZO DE BOMBEO Y PIEZÓMETROS DE OBSERVACIÓN DURANTE LOS ENSAYOS DE BOMBEO Y RECUPERACIÓN
 - ANEXO III: "DOSSIER" DE FOTOGRAFÍAS

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Entre los fines y funciones que otorga al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), como Organismo Público de Investigación, el artículo 3º del Real Decreto 1953/2000, de 1 de diciembre, figuran las siguientes:

- a) El estudio, investigación análisis y reconocimiento en el campo de las Ciencias y Tecnologías de la Tierra.
- b) La creación de infraestructuras de conocimiento.
- c) La información, la asistencia técnico-científica y el asesoramiento a las Administraciones públicas, agentes económicos y a la sociedad en general, en geología, hidrogeología ciencias geoambientales, recursos geológicos y minerales.
- d) Las relaciones interdisciplinares con otras áreas del saber, contribuyendo al mejor conocimiento del territorio y de los procesos que lo configuran y modifican, al aprovechamiento sostenido de sus recursos y a la conservación del patrimonio geológico e hídrico.
- e) Elaborar y ejecutar los presupuestos de I+D y de desarrollo de infraestructuras de conocimiento en programas nacionales e internacionales, en el ámbito de sus competencia.

El Instituto, en ejercicio de sus competencias institucionales y en cumplimiento de las obligaciones emanadas de la Ley de Aguas, realiza estudios encaminados a mejorar el conocimiento de los acuíferos y a proteger la calidad de las aguas subterráneas.

En consecuencia y dentro del Convenio Específico entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Comunidad Autónoma de Les Illes Balears para la realización de trabajos y estudios hidrogeológicos en las islas, vigente hasta finales del año 2008, el IGME está desarrollando en la actualidad el proyecto titulado "Actuaciones de uso conjunto y recarga artificial encaminadas a mejorar la gestión medioambiental y el uso sostenible de los acuíferos ligados a la arteria transversal de la Isla de Mallorca".

Uno de los objetivos de dicho proyecto es la construcción y puesta en marcha de una instalación piloto de recarga artificial en el acuífero de Crestatx. Dicha instalación de recarga tomará el agua de los excedentes provenientes de las Ufanés de Gabellí, y lo conducirá a una instalación de almacenamiento y decantación intermedia, desde donde será posteriormente enviada a los sondeos profundos de recarga. Está

inicialmente previsto que la instalación de decantación sea una cantera abandonada conocida con el nombre de coma de S´Aigua, dentro del termino municipal de Campanet, aunque no se descartan otras posibilidades de cara al futuro.

Para diseñar correctamente la instalación, es imprescindible conocer las características hidrodinámicas del acuífero de Crestatx. Para ello, se ha realizado un bombeo de ensayo de 72 horas en el sondeo de 250 m de profundidad conocido como Cane Mora II con número de inventario del IGME 392631726.

2.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Para el ensayo, se han utilizado tres sondeos, uno de bombeo y dos de control. La situación geográfica de los mismos se observa en la figura 1, que corresponde al Mapa Topográfico Instituto Geográfico Nacional (1:25.000 Hoja 671 II de Sa Pobra). Las principales características de los 3 puntos se observan en la tabla 1.

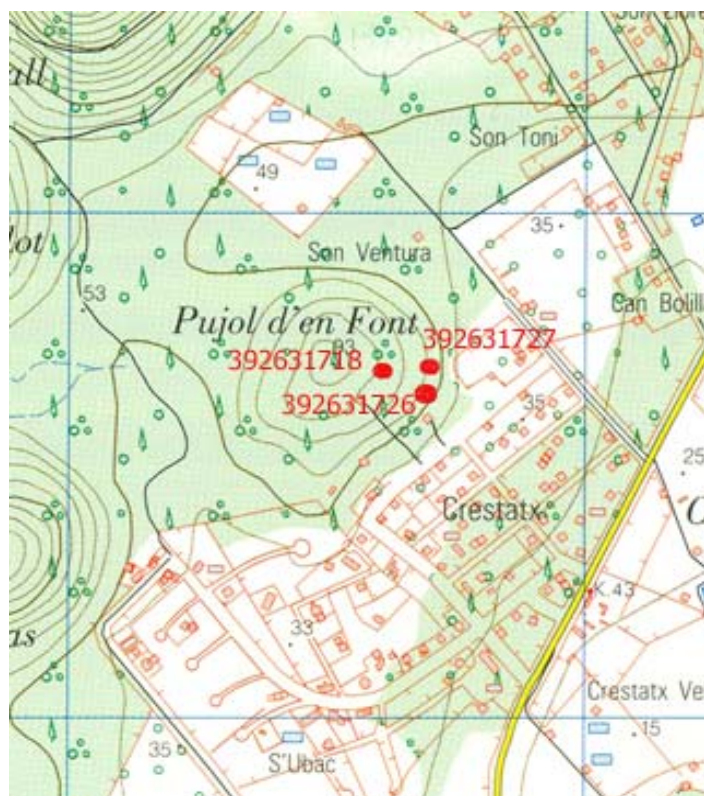


Figura 1. Localización geográfica de los sondeos ensayados.

TABLA 1	Nº IPA	TOPONIMIA	COORDENADA X	COORDENADA Y	COORDENADA Z
Pozo de bombeo	392631726	Cane More II	501.762	4.406.729	37,90
Piezómetro 1	392631718	Cane More	501.754	4.406.695	36,40
Piezómetro 2	392631727	Naranjos	501.838	4.406.712	37,90

En la figura 2 se puede observar una fotografía panorámica con el pozo de bombeo y los pozos utilizados como piezómetros de control.



Figura 2. Vista del pozo de bombeo y los piezómetros de control.

3.- HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA

El acuífero de Crestatx, situado en el sector nororiental de la isla de Mallorca, constituye un sistema imbricado de cabalgamientos con dos niveles de despegue principales, la base del Keuper y del Retiense.

La práctica totalidad del acuífero está compuesta por materiales carbonáticos, dolomías y calizas del Lías (Jurásico Inferior) principalmente, que se encuentran en forma masiva en la base y estratificados en el techo de la unidad. Asimismo, localizados en ciertos tramos del acuífero, pueden distinguirse afloramientos de otros materiales de edades distintas; así, en el noreste del acuífero existen afloramientos de dolomías y calizas dolomíticas con intercalaciones de margas y arcillas propias del Triásico Retiense, mientras que hacia el suroeste afloran materiales más modernos como las margas y margocalizas jurásicas y cretácicas, e, incluso, las margas grises y calizas del Paleógeno, éstas situadas más hacia el sureste del acuífero.

De todas las formaciones que constituyen la geología del acuífero de Crestatx, únicamente los materiales del Retiense, del Lías y del Cuaternario pueden considerarse permeables. El resto de ellos, los materiales del Keuper, del Jurásico Medio y Superior y los de la parte inferior del Retiense, se suponen conjuntos de escasa permeabilidad no pudiendo constituir, por tanto, ningún nivel acuífero.

El acuífero de Crestatx se encuentra dividido en dos unidades hidrogeológicas distintas, cuya conexión no está del todo clara, por lo cual el IGME está desarrollando en la actualidad un estudio geológico de detalle cuyo objetivo es determinar si dicha conexión existe o no. En todo caso, los materiales impermeables del Retiense y del Keuper constituyen la superficie de despegue del cabalgamiento del Puig de María. Estas unidades

reciben el nombre de María-Caselles y Crestatx respectivamente, siendo en esta última unidad donde se encuentran ubicadas en la actualidad las captaciones destinadas a la extracción de agua para el abastecimiento urbano de la Bahía de Alcudia.

La recarga del acuífero de Crestatx se realiza directamente a partir de la infiltración del agua de lluvia que tiene lugar a través de su zona no saturada. El área de recarga del acuífero superior (Unidad de Crestatx), de unos 3,5 km², se corresponde con el Puig de Son Vila, mientras que el del acuífero inferior (Unidad de María-Caselles) incluye Son Vila, el Puig de Caselles, el Puig de María y el Puig des Fangar, con una superficie de 8 km².

Como la topografía en el acuífero que se encuentra en explotación (acuífero superior) no es abrupta, se intuye un cierto basculamiento de todos sus materiales hacia el suroeste, de lo que se deduce que el flujo del agua subterránea se produce también en esa dirección. De este modo, la descarga en este acuífero parece producirse, además de por los bombeos de abastecimiento, de forma natural por el suroeste hacia el Llano de Inca-Sa Pobra. Este extremo será confirmado también por el estudio geológico actualmente en realización.

4.- EQUIPOS UTILIZADOS

El material utilizado para llevar a cabo las pruebas de bombeo fue el siguiente:

- Electrobomba de 60 C.V. de potencia situada a 117 m de profundidad
- Tubería de impulsión de 4" de diámetro interior
- Tubo guía de 1 " para dirigir sonda hidronivel
- Caudalímetro y contador de volumen marca ADMG
- Regulador de frecuencia electrobomba marca VTC
- Hidroneveles eléctricos para las medidas de evolución en el pozo de bombeo y en los de observación.

En los pozos de observación situados a 35 m y 85,7 m del de bombeo, se realizaron los registros de evolución de nivel directamente a través de la tubería de revestimiento de los sondeos, ya que ninguno de los dos pozos estaban equipados.

5.- CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS

Pozo de bombeo (Cane More II)

Profundidad total 250 m

Diámetro de perforación	aproximadamente 400 mm
Método de perforación	Rotopercusión
Diámetro de entubación	300 mm. En toda su longitud en acero de 4 mm de espesor
Filtros	Ranurado con soplete en toda su longitud
Material atravesado	Dolomías del Lias

Piezometro de observación 1 (Cane More)

Profundidad total	200 m.
Diámetro de perforación	aproximadamente 300 mm
Método de perforación	Rotopercusión
Diámetro de entubación	200 mm. En toda su longitud en acero de 4 mm de espesor
Filtros	Ranurado con soplete en toda su longitud
Material atravesado	Dolomias del Lias

Piezometro de observación 2 (naranjos)

Profundidad total	100 m
Diámetro de perforación	aproximadamente 300 mm
Método de perforación	Rotopercusión
Diámetro de entubación	200 mm. En toda su longitud en acero de 4 mm de espesor
Filtros	Ranurado con soplete en toda su longitud
Material atravesado	Dolomías del Lias

Las fichas de los tres sondeos utilizados durante el ensayo se acompañan en el Anexo I.

6.- DESARROLLO DE LOS BOMBEOS

El día 16 de abril de 2007, a las 10:10 h comenzó el bombeo a caudal constante de 30 l/s en el pozo de toponimia Cane More II. La profundidad del nivel estático referenciado a boca de sondeo era de 53,55 m en el pozo de bombeo, y en los piezómetros de observación 1 y 2, de 51,58 m y 49,75 m respectivamente.

Las evoluciones de los niveles hidrodinámicos, tanto en el pozo de bombeo como en los de observación, se midieron de una forma sistemática a lo largo de toda la prueba que tuvo una duración de 4.305 minutos. Los valores puntuales de los descensos en los referidos pozos pueden observarse en el Anexo II. Al final de esta prueba el descenso total ocasionado en el pozo de bombeo fue de 3,71 m, de 2,53 m en el piezómetro de observación 1, y de 2,62 m en el piezómetro de observación 2.

Finalizado el anterior ensayo, se procede a la observación de niveles en su fase de recuperación. Al término de los 2.204 minutos de observación en recuperación del pozo de bombeo, el descenso residual era de 73 cm; mientras que dicho descenso para el piezómetro de observación 1 era de 81 cm también a los 2.204 minutos, y de 52 cm en el piezómetro de observación 2.

7.- INTERPRETACIÓN DEL BOMBEO DE ENSAYO Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS DEL ACUÍFERO.

Para interpretar el ensayo de bombeo se van a emplear los métodos de *THEIS*, mediante el programa de interpretación de bombeos de ensayo *PIBE 2.0* desarrollado por la Diputación de Alicante, y la simplificación de JACOB. Dichos métodos están diseñados para tratar acuíferos confinados, por lo cual, en principio, no serían aplicables al caso en estudio, al ser el acuífero de Crestatx de carácter libre. Sin embargo, existe la posibilidad de utilizar estos métodos utilizando los descensos corregidos y la corrección de Dupuit, tras lo cual, los resultados obtenidos son igualmente válidos. Sin embargo, existen algunos casos en los cuales no es necesario aplicar la corrección de DUPUIT, por lo cual pueden utilizarse directamente los descensos medidos durante el ensayo. La condición que se debe cumplir para ello es que la depresión al final del ensayo de bombeo sea inferior al 15 % del espesor saturado inicial (Villanueva e Iglesias, 1984). En el caso de Crestatx esta condición se cumple, puesto que dicho espesor saturado inicial es de 388 m, y la depresión final es de 3,71 m (un 0,95%). Por tanto, se utilizará el método de Theis y, si es aplicable, la simplificación de Jacob para hacer la interpretación del ensayo de bombeo.

7.1.- Método de Theis utilizando el programa de interpretación de bombeos de ensayo PIBE 2.0, desarrollado por la Diputación de Alicante.

El programa de interpretación de bombeos de ensayo PIBE 2.0 (Diputación de Alicante, 2007). permite calcular el descenso producido por un bombeo de caudal Q , en un punto situado a una distancia r , transcurrido un tiempo t , en un acuífero con una transmisividad T y un coeficiente de almacenamiento S aplicando la ecuación de Theis. La precisión del cálculo dependerá del número de términos utilizados en la serie de la función $W(u)$. El programa PIBE realiza esta estimación calculando términos de la serie hasta que estos son menores de 1×10^{-9} . Se realiza un ajuste automático entre los valores medidos y la curva teórica obtenida a partir de los descensos medidos y del régimen de explotación, utilizando el método de interpretación que mejor reproduzca los mismos. De manera automática, el programa varía los parámetros T y S hasta que se minimice una función de

error cuadrático entre los valores medidos y los calculados por el programa, momento en el cual, fija los valores de T y S resultante y da por interpretado el ensayo.

En base a esta metodología descrita, y una vez introducidos en el programa todos los datos de descenso observados en los 4.305 minutos de bombeo, así los datos observados en la recuperación durante 2.204 minutos, en la siguiente tabla se sintetiza los resultados obtenidos aplicando la ecuación de THEIS.

PARÁMETROS OBTENIDOS CON DATOS DE DESCENSO			
	T (m ² / día)	S	DISTANCIA A POZO DE BOMBEO (m)
POZO BOMBEO	636,4	0,03	0,2
PIEZOMETRO 1	450,9	0,018	34,9
PIEZOMETRO 2	373,9	0,004	85,7

La figuras 3, 4 y 5 representan los ajustes del programa PIBE obtenidos respectivamente para el pozo de bombeo, para el piezómetro 1 y para el piezómetro 2.

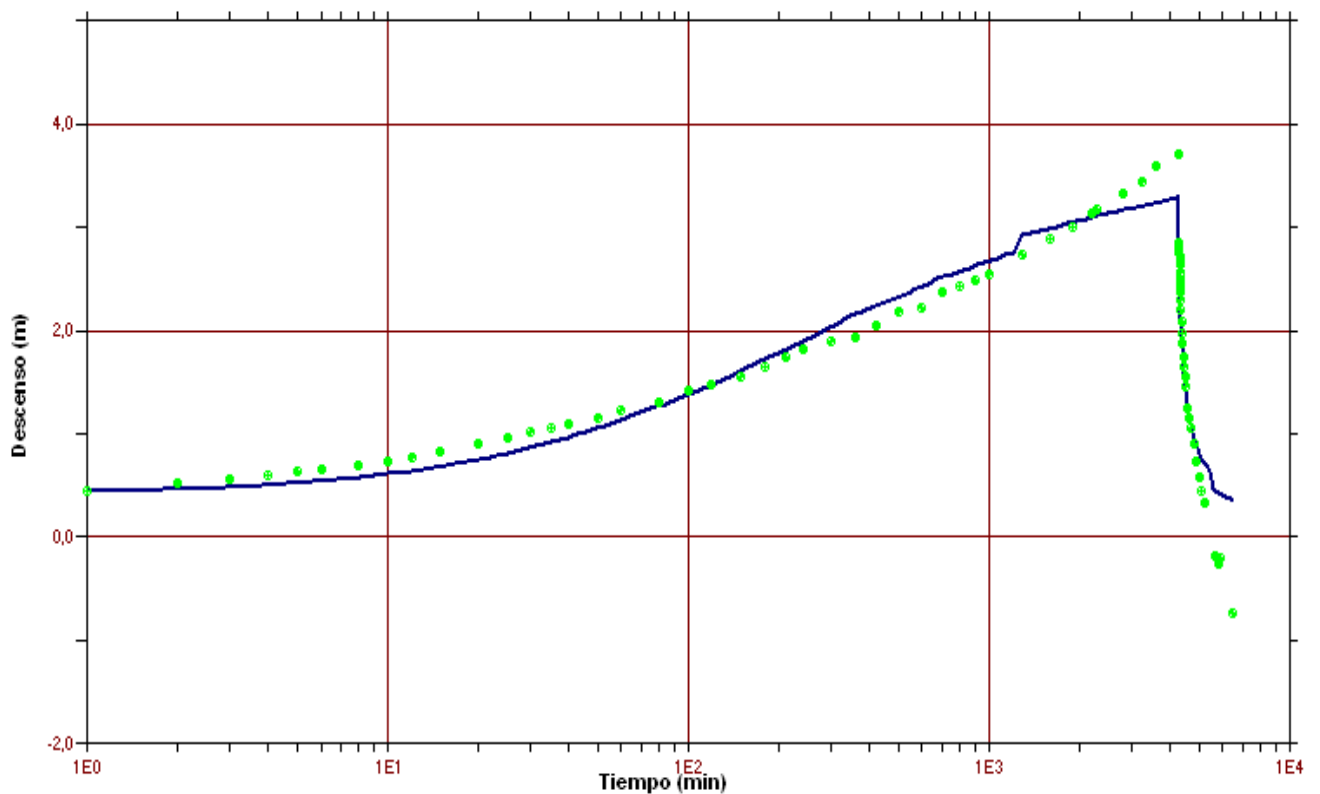


Figura 3. Curva del ensayo en el pozo de bombeo, ajustada con el programa PIBE

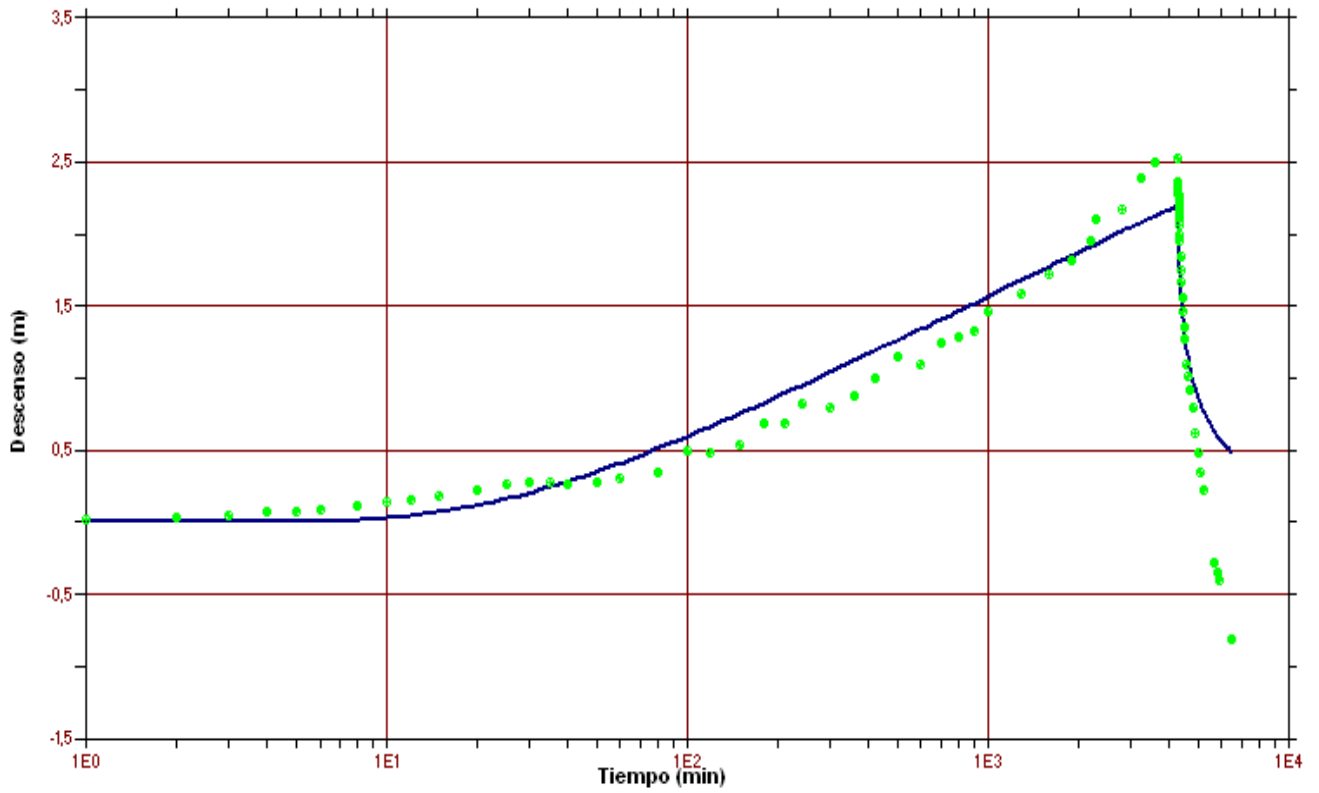


Figura 4. Curva del ensayo en el piezómetro 1 (Cane More), ajustada con el programa PIBE

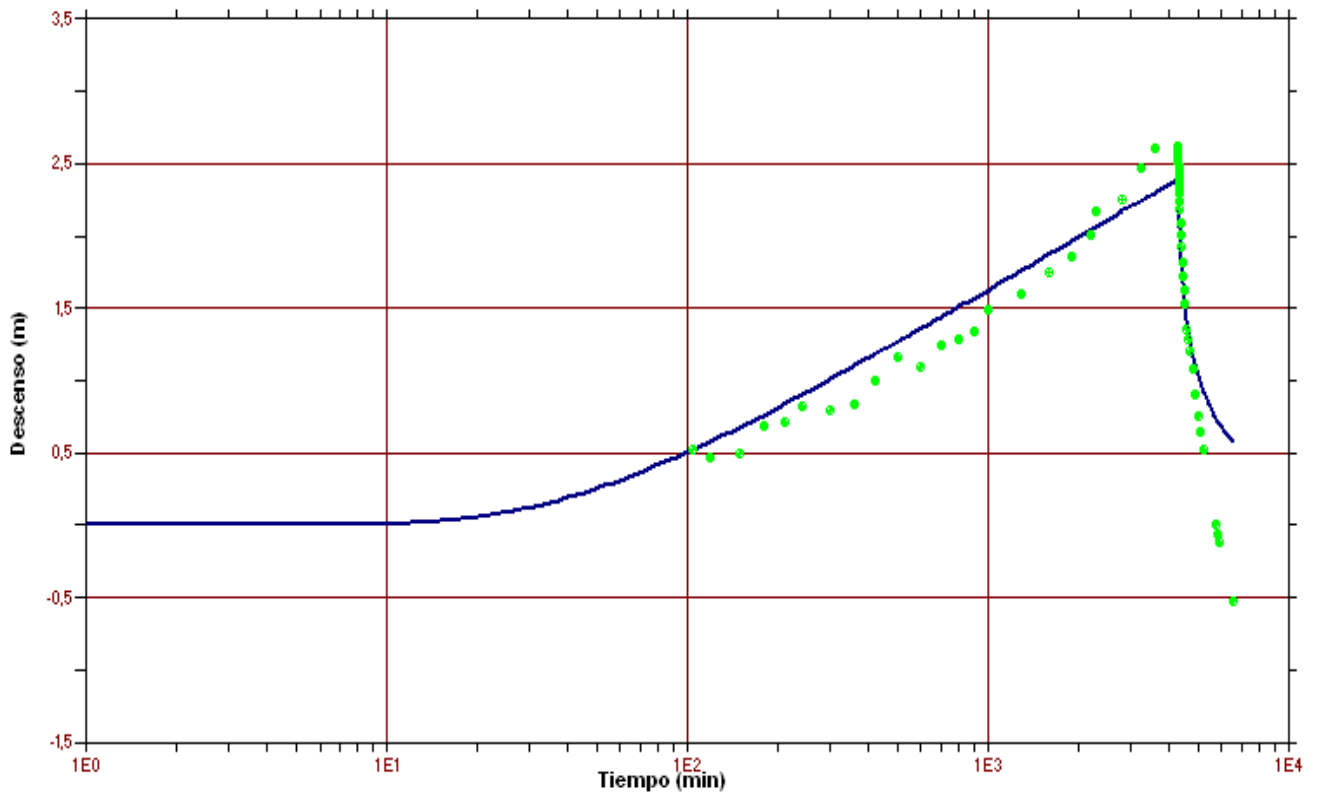


Figura 5. Curva del ensayo en el piezómetro 2 (naranjos), ajustada con el programa PIBE

7.2.- Método de Jacob

Para valores de $u < 0,03$ se puede emplear con suficiente aproximación el método de JACOB, aunque en la mayoría de casos prácticos, la simplificación se usa siempre que "u" sea menor de 0,1. además, en el pozo de bombeo es siempre aplicable la simplificación de Jacob (Villanueva e Iglesias, 1984). En el caso que nos ocupa se cumplen perfectamente los límites impuestos de aplicación del método.

El descenso originado por en un punto de observación donde se efectúa un bombeo a caudal constante, viene dado según JACOB por la fórmula:

$$d = 0.183 (Q/T) \lg (2,25 Tt/r^2S) \quad (1)$$

donde: d = descenso en metros.
 Q = Caudal de bombeo constante en m^3/h
 T = Transmisividad en $m^2/día$
 t = Tiempo de bombeo en horas
 S = Coeficiente de almacenamiento
 r = Distancia entre el punto de bombeo y de observación en metros

denominando $t_0 = (r^2 S)/(2,25 T)$ y representando gráficamente en escala semilogarítmica los descensos frente a los tiempos, la ecuación (1) se ajusta bastante a una recta, cuyo punto de corte con el eje de tiempos (abscisas) es precisamente el valor t_0 , que representa, por tanto, el momento del ensayo a partir del cual la simplificación de Jacob es válida y delimita la parte de la recta que representa la ecuación (1) en la cual se pueden calcular los parámetros hidráulicos del acuífero.

Los gráficos obtenidos en la interpretación del ensayo se acompañan en el anexo V, en los cuales se puede ver el período teórico de validez de la simplificación de Jacob. Para calcular la transmisividad, es necesario calcular el descenso por cada ciclo de la escala semilogarítmica. La ecuación (1) se transforma en la siguiente expresión:

$$\Delta d = 0,183 Q/T,$$

con lo cual, la transmisividad se deduce inmediatamente:

$$T = 0,183 Q/ \Delta d$$

Los valores de transmisividad obtenidos en el pozo de bombeo y en los piezómetros de control son los siguientes:

Pozo de bombeo (figura 6):

pendiente por ciclo: 1,80 metros

$$T = (0,183 \times 30 \times 86,4) / 1,8 = 263,52 \text{ m}^2/\text{día}$$

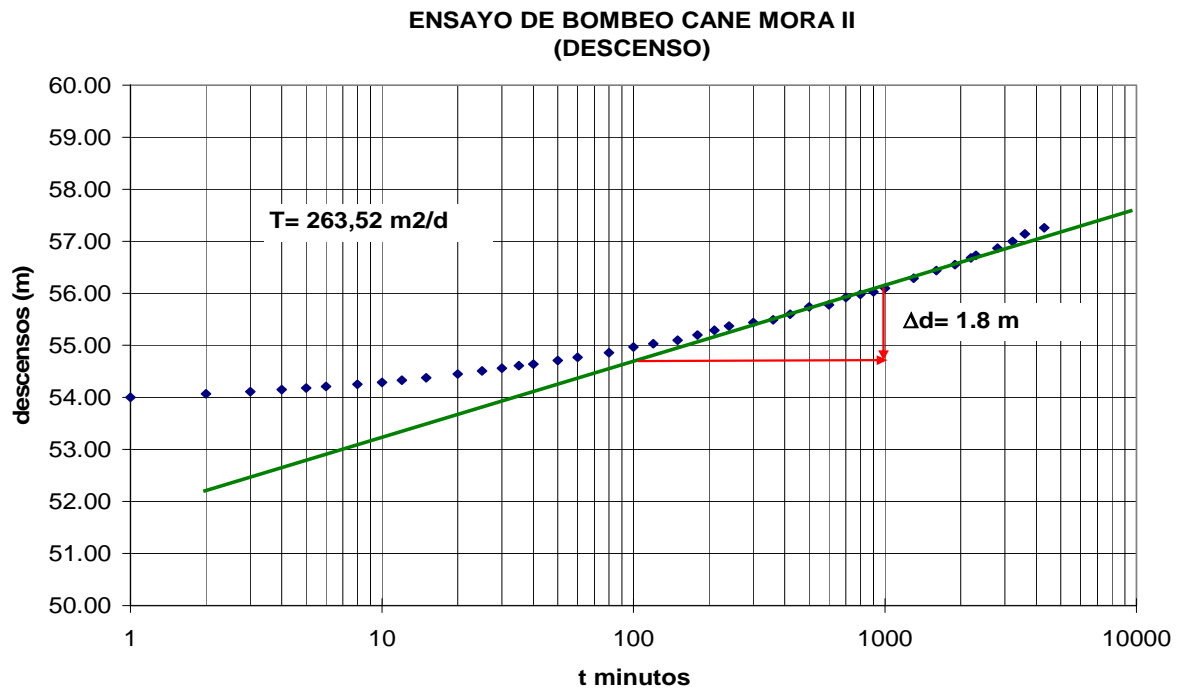


Figura 6. Interpretación del ensayo en el pozo de bombeo mediante la simplificación de Jacob

Piezometro 1 (figura 7):

pendiente por ciclo: 1,70 metros

$$T = (0,183 \times 30 \times 86,4) / 1,7 = 279 \text{ m}^2/\text{día}$$

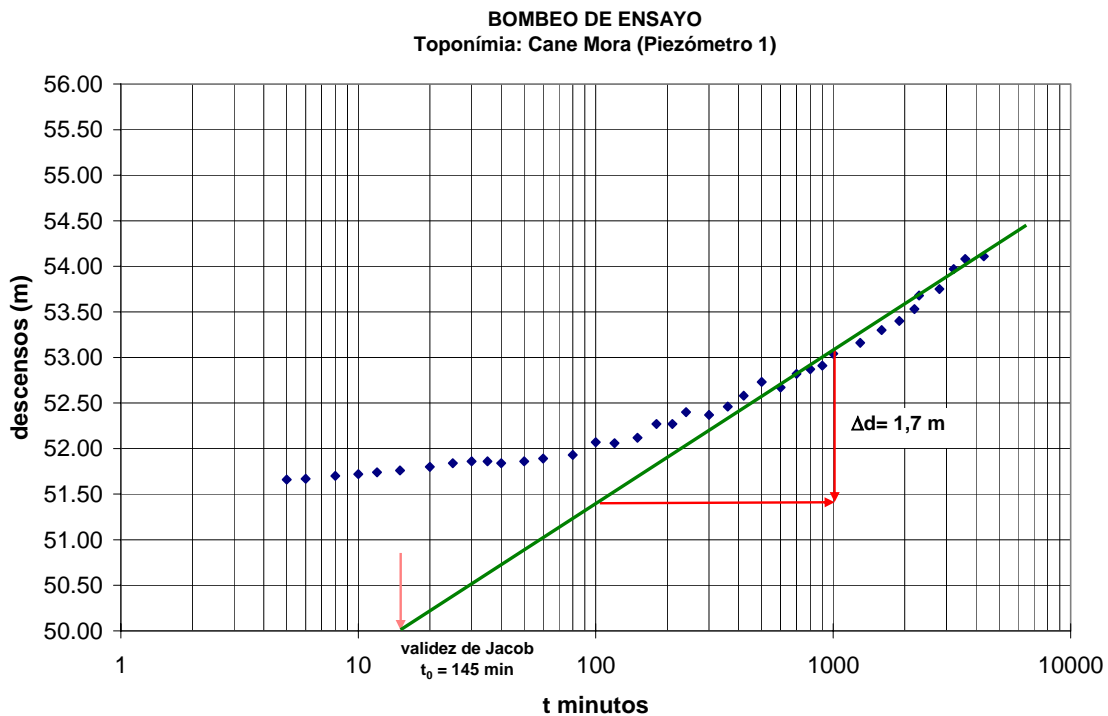


Figura 7. Interpretación del ensayo en el piezómetro 1 mediante la simplificación de Jacob

Piezometro 2:

pendiente por ciclo: 4 metros

$$T = (0,183 \times 30 \times 86,4) / 2 = 118,60 \text{ m}^2/\text{día}$$

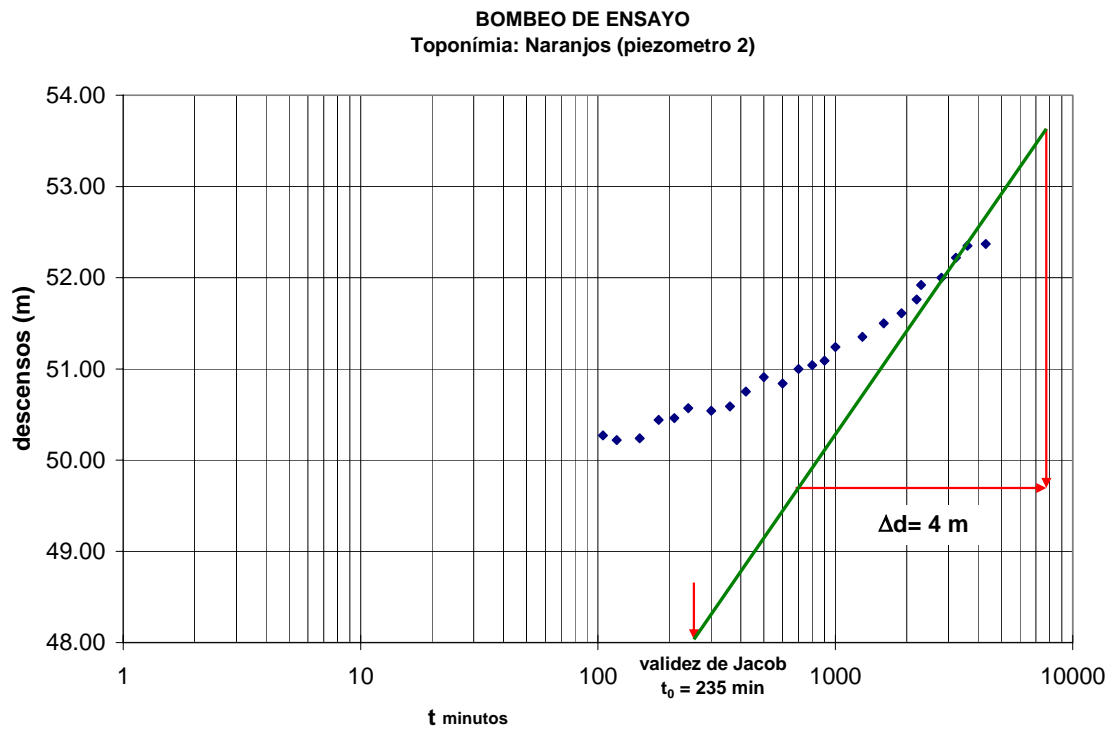


Figura 8. Interpretación del ensayo en el piezómetro 2 mediante la simplificación de Jacob

Conocidos los valores de la transmisividad y obtenidos los valores de "t₀", que viene dado por la intersección de la recta con el eje de abscisas de la ecuación (1), se pueden calcular los valores del coeficiente de almacenamiento S en cada uno de los piezómetros controlados mediante la expresión:

$$S = (2,25 \times T \times t_0) / r^2$$

Los resultados obtenidos son:

Piezometro 1:

$$t_0 = 145 \text{ minutos}$$

$$r = 34,9 \text{ m}$$

$$S = 5,20\%$$

Piezometro 2:

$$t_0 = 235 \text{ minutos}$$

$$r = 85,7 \text{ m}$$

$$S = 0,6\%$$

Con los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, se puede calcular el radio de influencia R, es decir, la distancia desde el punto de bombeo en la cual el efecto de dicho bombeo es nulo. Este radio de acción es función del tiempo de bombeo (t) y de los parámetros T y S, e independiente del caudal extraído.

$$R^2 = (2,25 \times T \times t) / S$$

Para nuestro caso, con una duración de 72 h. o 3 días, y tomando como valores de T y S 300 m²/día y 0,2% respectivamente, el valor del radio de influencia es:

$$R = (2,25 \times 300 \times 3) / (2 \times 10^{-3})^{1/2} = \mathbf{1006 \text{ m}}$$

Con el fin de comprobar la bondad del análisis efectuado, se han realizado algunos tests de comprobación de los resultados obtenidos cuyo objeto es determinar si la aproximación de Jacob utilizada es válida o no. Dichos tests se han interpretado mediante los gráficos diagnósticos.

Gráficos diagnósticos

Los gráficos diagnósticos consisten en un conjunto de representaciones de los descensos vs. diferentes funciones del tiempo con objeto de detectar las anomalías que afectan al ensayo e inferir deducciones acerca de los aspectos hidrodinámicos dominantes durante el ensayo.

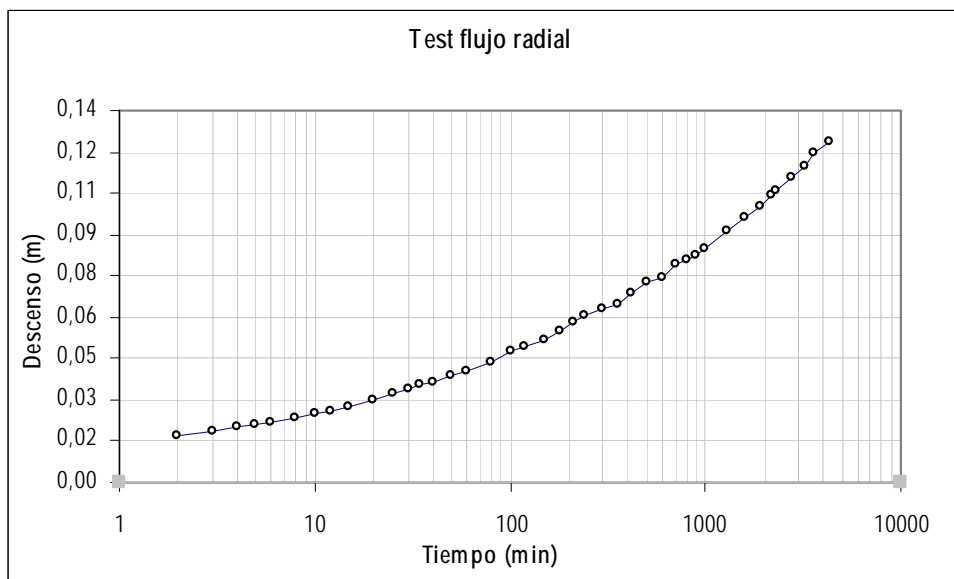


Figura 9.

- La representación de los descensos vs. logaritmo del tiempo (Figura 9) permite verificar la hipótesis de flujo radial, en cuyo caso, los puntos se deben alinear a partir de un momento determinado (umbral de validez de la simplificación de Jacob). En este caso no es claro este tramo recto, bien por la inexistencia de flujo radial o invalidez del modelo de Jacob.
- La gráfica descensos vs. la raíz de los tiempos (Figura 10) sugiere la existencia de flujo lineal si la nube de puntos se alinea a una recta. En este caso no hay evidencias de flujo lineal.

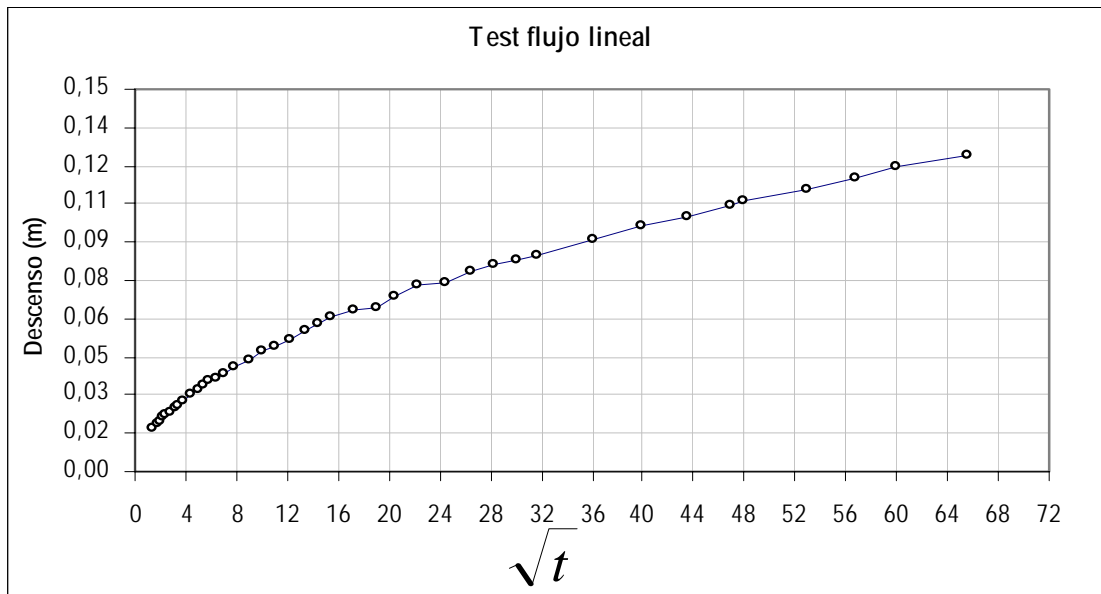


Figura 10

- La gráfica descensos vs. inversa de la raíz de los tiempos (Figura 11) sugiere la existencia de flujo esférico si la nube de puntos es asimilable a una recta. No es el caso de este ensayo.

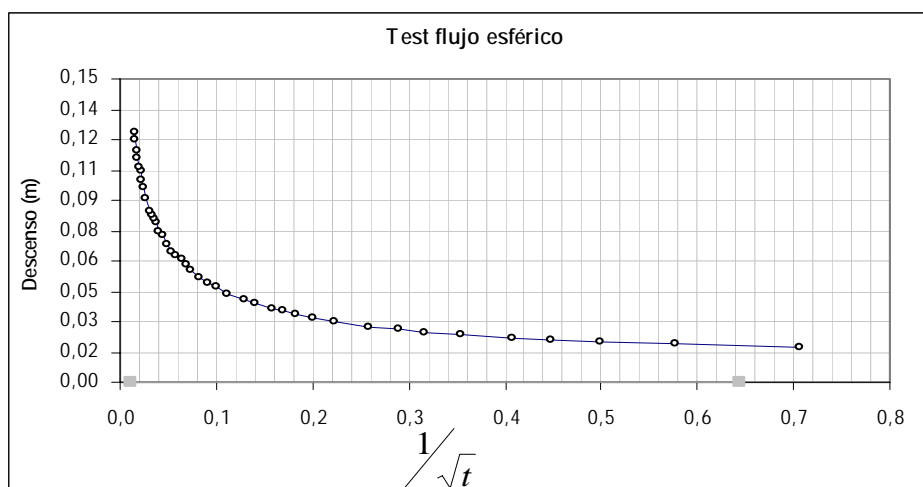


Figura 11

- La representación de la derivada de los descensos con respecto a los tiempos (Figura 4) es un indicador de las anomalías que afectan a la geometría del acuífero. En este caso concreto, dada la escasa variación de niveles en relación con la sensibilidad de las medidas realizadas (cm) se obtienen una gráfica quebrada que dificulta la correcta interpretación de este test, ya que afecta a medidas obtenidas al final del ensayo, cuando se detecta las posibles barreras hidráulicas.

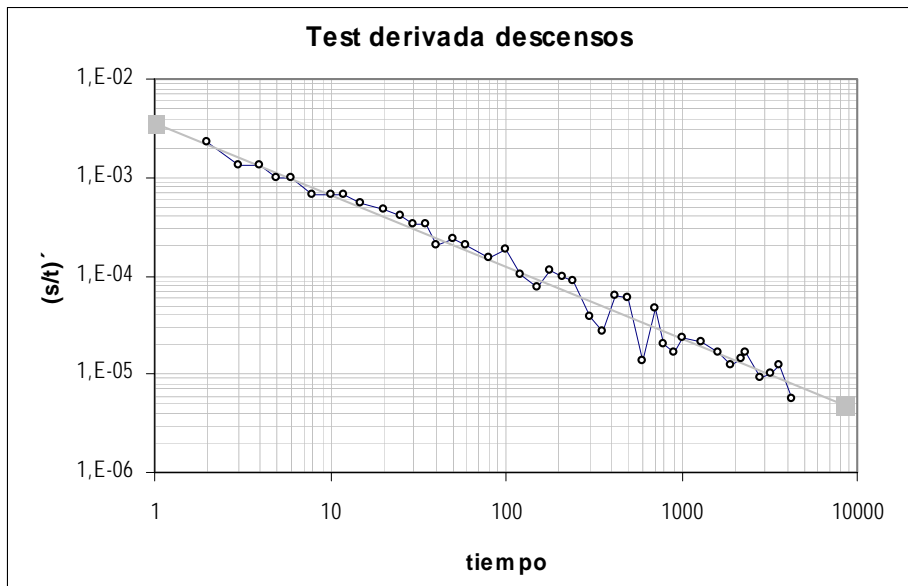


Figura 12

Una primera conclusión a la vista de las cuatro últimas figuras es posible: la ausencia de flujo lineal (figura 10) y de flujo esférico (figura 11) obliga a admitir la existencia de flujo radial, por lo que la causa más probable de fallo del test de flujo radial (figura 9) es la invalidez de la aproximación logarítmica de Jacob.

No obstante lo anterior, se ha determinado el valor de los parámetros hidráulicos mediante la aproximación logarítmica de Jacob con objeto de comparar los descensos reales con los teóricos resultantes de los valores de T y S hallados. Los resultados obtenidos han sido:

PUNTO DE MEDIDA	TRANSMISIVIDAD (m ² /día)	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
Pozo de bombeo	263,52	--
Piezómetro 1	279	5,20 %
Piezómetro 2	118,60	0,6 %

En el pozo de bombeo no es posible la simulación rigurosa de los descensos ya que no se puede obtener el coeficiente de almacenamiento (S). No obstante, si se adoptan los valores de S obtenidos en los dos piezómetros se obtienen las gráficas siguientes (figuras 13 y 14):

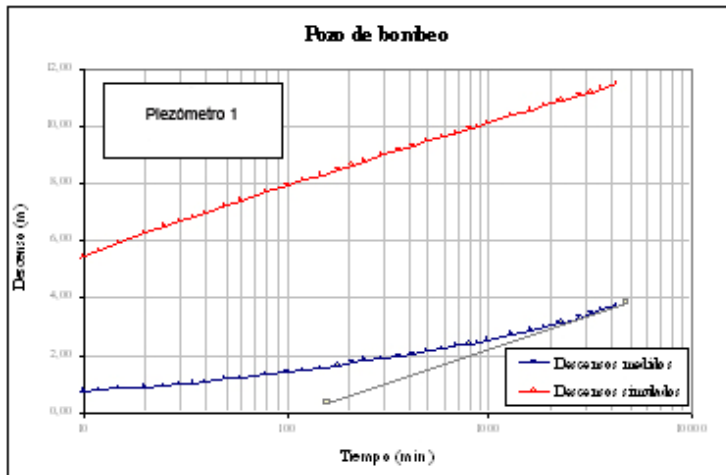


Figura 13. Simulación de los descensos en el pozo de bombeo utilizando los parámetros obtenidos en el piezómetro 1

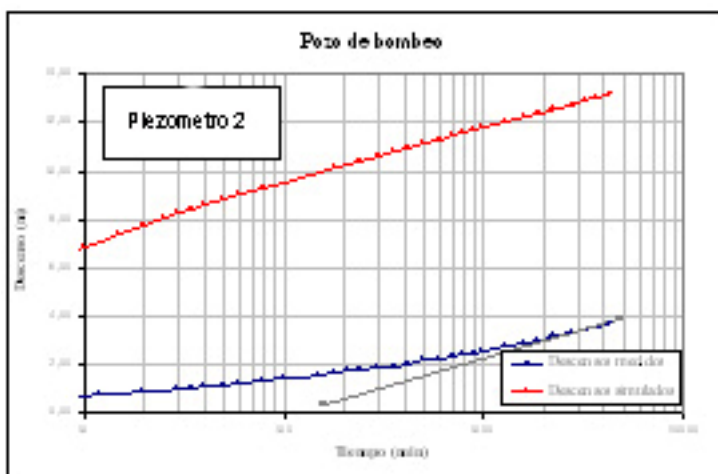


Figura 14. Simulación de los descensos en el pozo de bombeo utilizando los parámetros obtenidos en el piezómetro 2

Como se puede observar, estos parámetros no reproducen satisfactoriamente los descensos registrados en el pozo de bombeo. En el caso de los piezómetros, la falta de concordancia entre ambas curvas en los momentos iniciales también sugiere lo inadecuado del método.

Método Recuperación de Theis

Los resultados obtenidos han sido:

Recuperación Theis	Transmisividad m^2/dia
Pozo de Bombeo	142
Piezómetro 1	132
Piezómetro 2	122

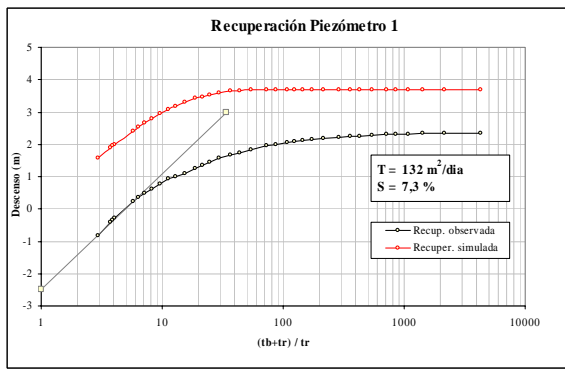


Figura 15

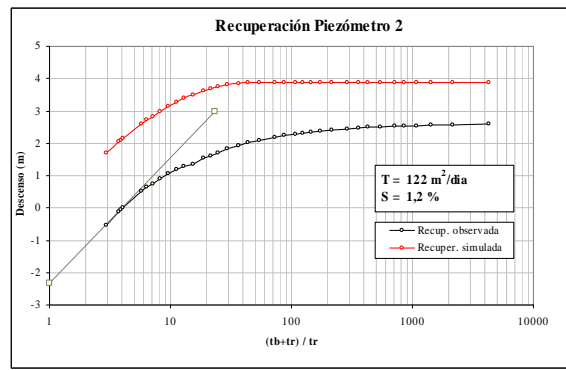


Figura 16

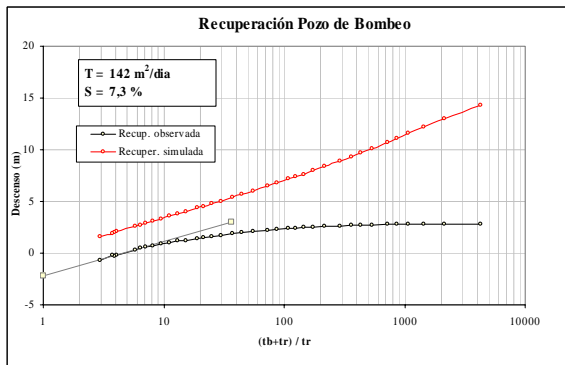


Figura 17

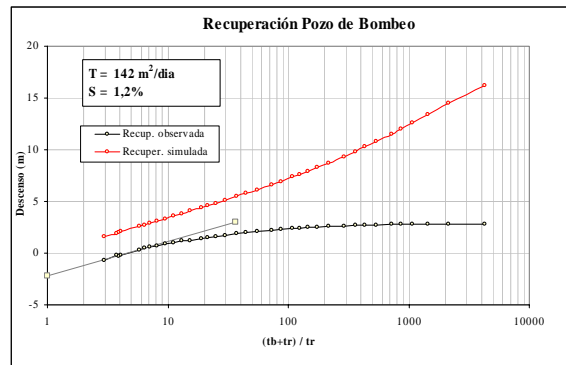


Figura 18

En ningún caso los descensos simulados reproducen satisfactoriamente los descensos medidos. No obstante, cabe destacar la coherencia de los resultados entre sí, tanto en la magnitud de la transmisividad como en la existencia de un superávit de recuperación próxima a 2,40 metros, similar en los tres puntos de observación.

7.3. Calibración mediante el programa "MABE" (método directo)

A la vista de la problemática interpretación del ensayo de bombeo utilizando la simplificación de Jacob, el ensayo de bombeo ha sido interpretado también con el programa MABE (acrónimo de **M**odelo **A**nálítico de **B**ombeos de **E**nsayo), implementado en una hoja de cálculo Excel. MABE se basa en la Solución de Theis, la Solución de Hantush y en el principio de superposición para poder contemplar ensayos de bombeo a caudal variable y la presencia de barreras hidrogeológicas que hacen que los acuíferos se alejen de la habitual exigencia de "infinito". MABE está diseñado para analizar Bombeos de Ensayo de hasta ocho escalones y simular hasta cuatro barreras hidrogeológicas, sean positivas o negativas.

La Solución de Theis y de Hantush está complementada por un algoritmo que contempla el almacenamiento en cavidades kársticas. Para ello, se ha asimilado este almacenamiento al de un pozo de gran diámetro que en la zona de fluctuación de niveles tiene un radio RE,

que denominamos Radio Equivalente (RE), para abordar su estudio mediante una aproximación analítica al método de Papadópoulos.

Los descensos (Δ) en el tiempo (t) se pueden deducir del siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} Q_{\text{karst}} &= \pi \cdot RE^2 \cdot d\Delta/dt \\ Q_{\text{acuifero}} &= 4 \cdot \pi \cdot T \cdot \Delta / W(u) \\ Q &= Q_{\text{karst}} + Q_{\text{acuifero}} \end{aligned}$$

que tras la simplificación de la primera ecuación por $Q_{\text{karst}} = \pi \cdot RE^2 \cdot \Delta / t$, conduce a la expresión:

$$\Delta = Q \cdot t \cdot W(u) / (\pi \cdot RE^2 \cdot W(u) + 4 \cdot \pi \cdot T \cdot t)$$

En caso de aplicar la solución de Hantush, la expresión anterior queda como sigue:

$$\Delta = Q \cdot t \cdot W(u,r/B) / (\pi \cdot RE^2 \cdot W(u,r/B) + 4 \cdot \pi \cdot T \cdot t)$$

Estas expresiones no son exactamente rigurosa por la simplificación efectuada y porque Q_{acuifero} es función del tiempo en los momentos iniciales, pero permite una aproximación suficiente a partir del primer ciclo logarítmico de tiempos ($t > 10$ min) y soslaya la inexistencia de solución analítica de la solución de Papadópoulos, así como que las tablas al uso no están tabuladas para el valor que en estos caso suele alcanza el parámetro α ($r^2 \cdot S / RE^2$)

En caso de sondeo escalonado, el programa puede ajustar automáticamente los descensos por pérdida de carga y determinar la ecuación del pozo.

También está implementada la aproximación semilogarítmica de Jacob; el método de Theis para ensayos de recuperación; el método de Lee para ensayos escalonados; el método de Boulton, Pricket y Walton, para acuíferos con drenaje diferido y los métodos semilogarítmicos de Hantush para acuíferos semiconfinados, tanto para curvas descenso-tiempo que muestran el punto de inflexión, como para las ensayos en la que todos los pares de puntos descensos-tiempo se sitúan en la zona próxima a la estabilización.

El programa permite simular para todos los métodos (excepto el de Boulton, Pricket y Walton) los descensos teóricos y las recuperaciones correspondientes a los parámetros físicos e hidrogeológicos introducidos, lo que permite calibrar la bondad de la

interpretación realizada y, si procede, mejorarla mediante tanteos iterativos, así como simular los descensos inducidos por la explotación continuada del sondeo.

De la observación de las gráficas de recuperación en el pozo de bombeo (figuras 17 y 18) llama la atención la concavidad invertida, hacia abajo, de la curva experimental, similar a la que suele presentar la recuperación de pozos de gran diámetro lo que en este caso concreto puede ser interpretado como el almacenamiento procedente de cavidades kársticas conectadas con el sondeo. Por ello, se ha calibrado mediante prueba-error (método directo), utilizando para ello la solución de Theis modificada por el algoritmo antes citado para tomar en consideración el almacenamiento kárstico.

Los resultados obtenidos se pueden sintetizar en el siguiente cuadro:

	Transm. m ² /día	S %	r ² . S M2	R. Equiv. m
Pozo de Bombeo	1360	----	4,82E-01	6,15
Piezómetro 1	1070	2,10%	----	----
Piezómetro 2	1.070	1,30%	----	----

Tal como se puede apreciar en las figuras 19 a 26, los ajustes conseguidos mejoran notablemente los conseguidos anteriormente, si bien para ello hay que adoptar una transmisividad sensiblemente mayor, simular barreras a 75, 90 y 110 metros y, en el caso del pozo de bombeo, admitir la conexión con una cavidad kárstica con un radio equivalente de 6,15 metros.

Los valores de la distancia de las barreras hidrogeológicas deben considerarse sólo como aproximados, ya que se trata de meros parámetros de ajuste, y los efectos de su presencia pueden ser simulado con una amplia variedad de posibilidades.

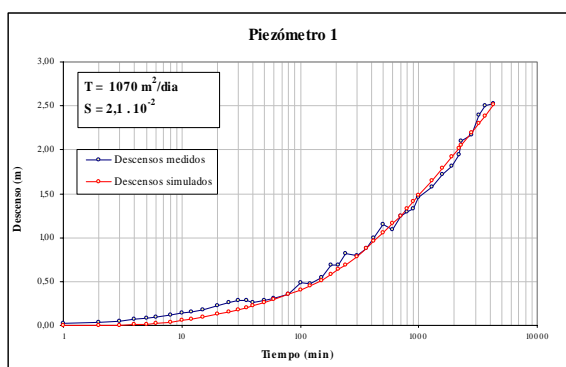


Figura 19

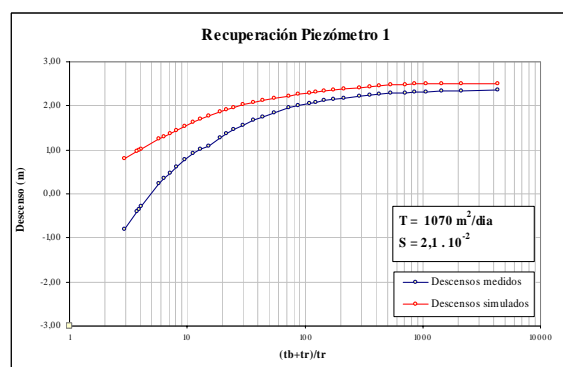


Figura 20

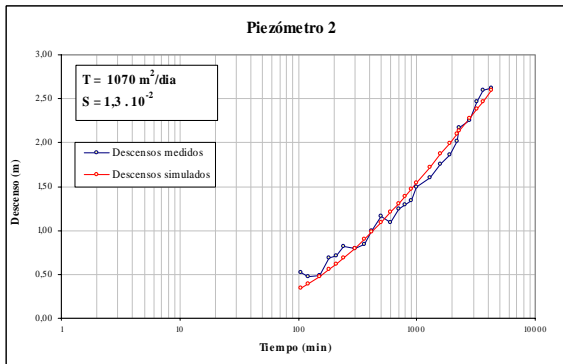


Figura 21

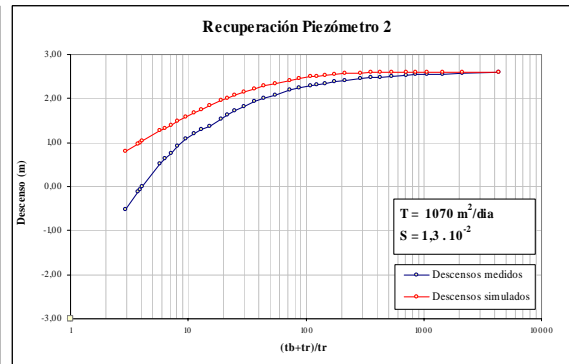


Figura 22

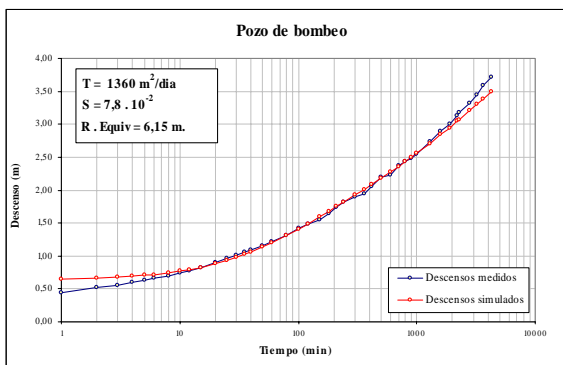


Figura 23

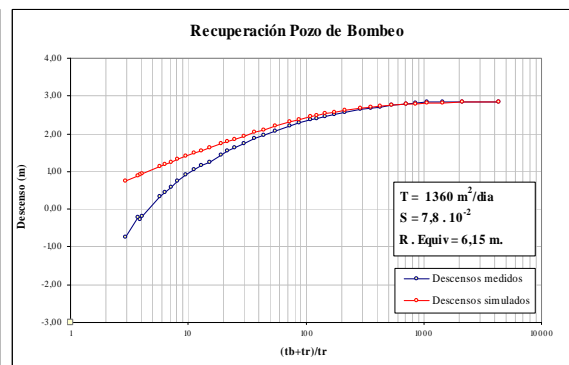


Figura 24

Los ajustes conseguidos no son del todo satisfactorios ya que se detectan anomalías que han resultado imposibles de simular. Así, en el caso del pozo de bombeo (Figura 23), los descensos medidos al final del ensayo superan los simulados, incluso admitiendo la posibilidad de una cuarta barrera y, en todos los casos, la recuperación simulada no reproduce la recuperación final medida, que llega a situarse a un profundidad inferior a la inicial del ensayo en los tres puntos de observación, y que sugiere un movimiento de fondo ascendente del nivel piezométrico durante la recuperación, de origen desconocido, posiblemente la influencia de bombes próximos.

Existen otras posibilidades que mejoran la simulación de la recuperación para valores de la transmisividad netamente inferiores a los anteriormente considerados, tal como se muestra en la figuras 25 y 26, que, sin embargo, no justifican los descensos durante el bombeo.

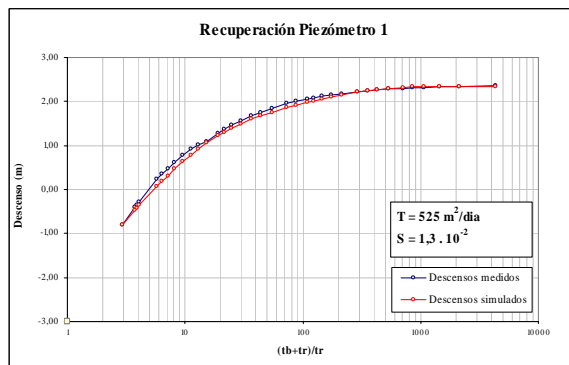


Figura 25

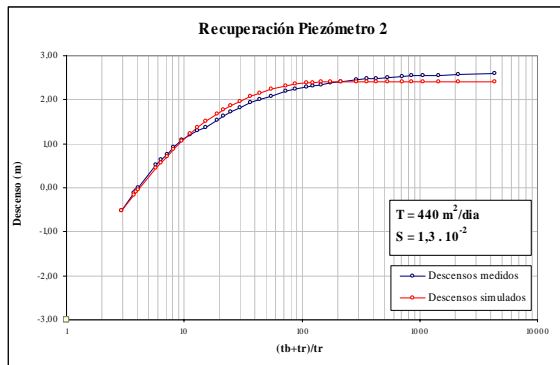


Figura 26

Para este ajuste se ha considerado que todas las medidas de la recuperación están en ambos piezómetros desplazados 2,40 metros, por lo que se ha sumado esta cantidad a los descensos simulados.

8. CONCLUSIONES

El ensayo de bombeo realizado en un sondeo en el acuífero de Crestatx (Cane Mora II), y controlado mediante dos piezómetros de observación 1 (Cane Mora) y 2 (denominado naranjos) en abril de 2007 ha sido interpretado por varios métodos: en primer lugar, se ha utilizado el programa PIBE, desarrollado por la Diputación de Alicante para la interpretación de ensayos de bombeo bajo diferentes condiciones. Los resultados obtenidos con este método son los siguientes:

PARÁMETROS OBTENIDOS CON DATOS DE DESCENSO			
	T (m ² / día)	S	DISTANCIA A POZO DE BOMBEO (m)
POZO BOMBEO	636,4	0,03	0,2
PIEZOMETRO 1	450,9	0,018	34,9
PIEZOMETRO 2	373,9	0,004	85,7

Posteriormente, se utilizó la aproximación de Jacob al método de Theis para realizar la misma interpretación. En este caso, los resultados obtenidos son los siguientes:

PUNTO DE MEDIDA	TRANSMISIVIDAD (m ² /día)	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
Pozo de bombeo	263,52	--
Piezómetro 1	279	5,20 %
Piezómetro 2	118,60	0,6 %

En ensayo de recuperación se ha interpretado también por el método de Jacob, obteniéndose los siguientes resultados:

Recuperación Theis	Transmisividad m ² /día
Pozo de Bombeo	142
Piezómetro 1	132
Piezómetro 2	122

Por último, se ha utilizado el programa MABE para interpretar el ensayo, que contempla la posibilidad de simular barreras hidrogeológicas y almacenamiento en cavidades kársticas, el cual ha proporcionado los siguientes resultados:

	Transm. m ² /día	S %	r ² . S M2	R. Equiv. m
Pozo de Bombeo	1360	----	4,82E-01	6,15
Piezómetro 1	1070	2,10%	----	----
Piezómetro 2	1.070	1,30%	----	----

A la vista de los resultados obtenidos por los diferentes métodos, y teniendo en cuenta la geología de la zona, con posibles fallas y cabalgamientos próximos al pozo ensayado, la litología caliza, la permeabilidad de los materiales por fisuración y karstificación, y la posible existencia de cavidades, se considera que el programa MABE probablemente ofrezca los mejores resultados. Por esta razón, se considera que los valores de los parámetros hidrodinámicos del acuífero que mejor se ajustan a las características geológicas de la zona donde se ha realizado el ensayo de bombeo son los siguientes:

Transmisividad T = 1.070 m²/día.

Coefficiente de almacenamiento S = 1,3%

9. REFERENCIAS.


Diputación de Alicante. 2007. PIBE 2.0. *Programa para la interpretación de ensayos de bombeo*. 63 pp.

Villanueva, M. e Igelsias, A. 1984. *Pozos y acuíferos*. Ed: IGME. 426 pp.

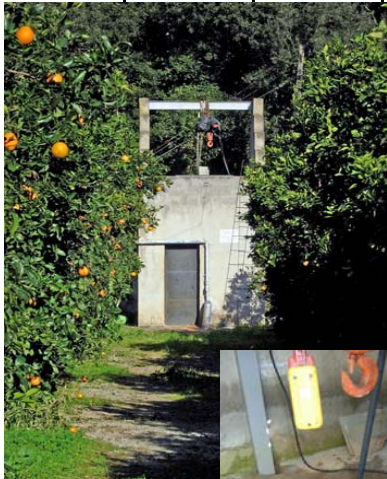

10.-ANEXOS


**ANEXO I: FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
DEL IGME DE LOS PUNTOS UTILIZADOS EN ESTE ENSAYO.**


 <p>INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA</p> <p>ARCHIVO DE PUNTOS ACUIFEROS</p> <p>ESTADISTICA</p>	Nº de registro	3 9 2 6 3 1 7 2 6	Coordenadas UTM	X	Y
	Nº de puntos descritos	1	31 S	501762	4406729
	Hoja topográfica 1/50.000	INCA Numero	671	Coordenadas lambert	X
	Cuenca hidrográfica	1 8	Objeto	Prospección de aguas	
	Sistema acuífero		Cota (m)	3 7 , 9 0	
Provincia			Referencia topográfica	Agujero en bomba	
Termino municipal	LA PUEBLA	4 4	Naturaleza	Sondeo 1	
Toponimia	CANE MORE II		Profundidad de la obra (m)	2 5 0 , 0 0	
Tipo de perforación	2		Nº de horizontes acuíferos atravesados		
Trabajos aconsejados por			MOTOR		BOMBA
Año de ejecución	9 3	Profundidad	Naturaleza		Naturaleza
Reprofundizado el año		Prof total	Tipo equipo de extracción		Capacidad
		250	Potencia (CV)		120 m3/h
		250	6 0		Marca y tipo
Utilización del agua	E	¿Tiene perímetro de protección?	NO		<input type="checkbox"/>
Cantidad extraída (Dm3)		Bibliografía del punto acuífero			<input type="checkbox"/>
Durante		Documentos intercalados			<input type="checkbox"/>
días		Entidad que contrata y/o ejecuta la obra	PARTICULAR		6
		Escala de representación			<input type="checkbox"/>
		Redes a las que pertenece el punto			
Modificaciones efectuadas en los datos del punto acuífero					<input type="checkbox"/>
Año en que se efectuó la modificación					
DESCRIPCIÓN DE LOS ACUIFEROS ATRAVESADOS					
Numero de orden		Numero de orden			
Edad geológica	Jurasico (Lias)	Edad geológica			
Litología	D O L O M I	Litología			
Profundidad del techo		Profundidad del techo			
Profundidad del muro		Profundidad del muro			
Esta interconectado	<input type="checkbox"/>	Esta interconectado	<input type="checkbox"/>		
Nombre y dirección del propietario	A.C.A., S.A. ANTONIO CERDA TL: 971545410, 607545410				
Nombre y dirección del contratista	HNOS GARCÍA (LA PUEBLA)				

MEDIDAS DE NIVEL Y/O CAUDAL						CORTE GEOLOGICO			
Fecha	Surgencia	Altura agua respecto a la referencia	Caudal m3/h	Cota absoluta del agua	Método de medida				
16042007		53.55							
ENSAYOS DE BOMBEO									
Fecha	16042007								
Caudal extraído (m3/h)	108								
Duración del bombeo	72								
Depresión en m.	3.71								
Transmisividad (m2/día)	300								
Coeficiente de almacenamiento									
Fecha									
Caudal extraído (m3/h)									
Duración del bombeo									
Depresión en m.									
Transmisividad (m2/seg)									
Coeficiente de almacenamiento									
DATOS COMPLEMENTARIOS DE SONDEOS DEL P.A.N.U.									
Resultado del sondeo	<input type="checkbox"/>								
Fecha de cesión del sondeo									
Caudal cedido (m3/h)									
CARACTERISTICAS TECNICAS									
PERFORACIÓN					REVESTIMIENTO				
De	A	d en mm	Observaciones	De	A	D inferior mm	Espesor mm	Naturaleza	Observaciones
	0	250							
		300							
Interesante red de piezometría									

 INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA ARCHIVO DE PUNTOS ACUIFEROS ESTADISTICA	Nº de registro	3 9 2 6 3 1 7 1 8	Coordenadas UTM	
	Nº de puntos descritos	1	31 S	X 501754 Y 4406695
	Hoja topográfica 1/50.000	INCA		Coordenadas lambert
		Numero 671	X	Y
	Cuenca hidrográfica	1 8	Objeto	Prospección de aguas
	Sistema acuífero		Cota (m)	3 6 4 0
	Provincia		Referencia topográfica	Agujero en bomba
Termino municipal	LA PUEBLA	4 4	Naturaleza	Sondeo 1
Toponimia	CANE MORE		Profundidad de la obra (m)	2 0 0 , 0 0
			Nº de horizontes acuíferos atravesados	CAS-969 Y DI-17,513
Tipo de perforación	Excavación	2	MOTOR	BOMBA
Trabajos aconsejados por			Naturaleza	Naturaleza
Año de ejecución	9 3	Profundida	Tipo equipo de extracción	3
Reprofundizado el año		Prof total	Potencia	4 0
		200		Capacidad 90 m3/h
		200		Marca y tipo
Utilización del agua	E	¿Tiene perímetro de protección?	NO	2
ABASTECIMIENTO		Bibliografía del punto acuífero		
Cantidad extraída (Dm3)	3 1 5	Documentos intercalados	ENSAYO Y ANÁLISIS	4
		Entidad que contrata y/o ejecuta la obra	PARTICULAR	6
Durante	3 6 5 días	Escala de representación		
		Redes a las que pertenece el punto	X X	
Modificaciones efectuadas en los datos del punto acuífero				
Año en que se efectuó la modificación				
DESCRIPCIÓN DE LOS ACUIFEROS ATRAVESADOS				
Numero de orden		Numero de orden		
Edad geológica	Jurasico (Lias)	Edad geológica		
Litología	D I O L O M I	Litología		
Profundidad del techo		Profundidad del techo		
Profundidad del muro		Profundidad del muro		
Esta interconectado		Esta interconectado		
Nombre y dirección del propietario	A.C.A., S.A. ANTONIO CERDA TL: 971545410, 607545410			
Nombre y dirección del contratista	HNOS GARCÍA (LA PUEBLA)			

MEDIDAS DE NIVEL Y/O CAUDAL						CORTE GEOLOGICO			
Fecha	Surgencia	Altura agua respecto a la referencia	Caudal m3/h	Cota absoluta del agua	Método de medida				
2031999		4 9 . 6 1	1 3 1						
16042007		5 1 . 5 8	1 0 8						
ENSAYOS DE BOMBEO									
Fecha				10031999					
Caudal extraido (m3/h)				131.3					
Duración del bombeo				189 h 45min					
Depresión en m.				11.23					
Transmisividad (m2/día)									
Coeficiente de almacenamiento									
Fecha				16042007					
Caudal extraido (m3/h)				108					
Duración del bombeo				72 h					
Depresión en m.				2.53					
Transmisividad (m2/seg)				300					
Coeficiente de almacenamiento				0.005					
DATOS COMPLEMENTARIOS DE SONDEOS DEL P.A.N.U.									
Resultado del sondeo	<input type="checkbox"/>								
Fecha de cesión del sondeo	[][][][][][][][][][][]								
Caudal cedido (m3/h)	[][][][][][][][][][][]								
CARACTERISTICAS TECNICAS									
PERFORACIÓN					REVESTIMIENTO				
De	A	d en mm	Observaciones	De	A	D inferior mm	Espesor mm	Naturaleza	Observaciones
	0	200							
		300							
Interesante red de piezometría									

 <p>INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA</p> <p>ARCHIVO DE PUNTOS ACUIFEROS</p> <p>ESTADISTICA</p>	Nº de registro	3 9 2 6 3 1 7 2 7	Coordenadas UTM	
	Nº de puntos descritos	1	31 S	X 501838 Y 4406712
	Hoja topográfica 1/50.000	INCA Numero 671	Coordenadas lambert X <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Y <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Croquis acotado o mapa detallado	Cuenca hidrográfica	1 8	Objeto Prospección de aguas	
	Sistema acuífero	<input type="text"/>	Cota (m) 3 6 , 4 0	
	Provincia	<input type="text"/>	Referencia topográfica Agujero en bomba	
	Termino municipal	LA PUEBLA	Naturaleza Sondeo 1	
	Toponimia	CANE MORE NARANJOS	Profundidad de la obra (m) 1 0 0 , 0 0	
			Nº de horizontes acuíferos atravesados <input type="text"/>	
Tipo de perforación	2	MOTOR		BOMBA
Trabajos aconsejados por		Naturaleza		Naturaleza
Año de ejecución	9 3	Profundidad	Tipo equipo de extracción	Capacidad
Reprofundizado el año		Prof total	Potencia	Marca y tipo
		100	<input type="text"/>	
		100	<input type="text"/>	
Utilización del agua	E	¿Tiene perímetro de protección? NO		<input type="checkbox"/>
Cantidad extraída (Dm3)	<input type="text"/>	Bibliografía del punto acuífero		<input type="checkbox"/>
Durante	<input type="text"/> días	Documentos intercalados		<input type="checkbox"/>
		Entidad que contrata y/o ejecuta la obra		PARTICULAR 6
		Escala de representación		<input type="checkbox"/>
		Redes a las que pertenece el punto		<input type="text"/>
Modificaciones efectuadas en los datos del punto acuífero <input type="checkbox"/>				
Año en que se efectuó la modificación <input type="text"/>				
DESCRIPCIÓN DE LOS ACUIFEROS ATRAVESADOS				
Numero de orden	<input type="text"/>	Numero de orden	<input type="text"/>	
Edad geológica	Jurasico (Lias)	Edad geológica	<input type="text"/>	
Litología	D O L O M I	Litología	<input type="text"/>	
Profundidad del techo	<input type="text"/>	Profundidad del techo	<input type="text"/>	
Profundidad del muro	<input type="text"/>	Profundidad del muro	<input type="text"/>	
Esta interconectado	<input type="checkbox"/>	Esta interconectado	<input type="checkbox"/>	
Nombre y dirección del propietario		A.C.A., S.A. ANTONIO CERDA TL: 971545410, 607545410		
Nombre y dirección del contratista		HNOS GARCÍA (LA PUEBLA)		

MEDIDAS DE NIVEL Y/O CAUDAL						CORTE GEOLOGICO				
Fecha	Surgencia	Altura agua respecto a la referencia	Caudal m3/h	Cota absoluta del agua	Método de medida					
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>						
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>						
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>						
ENSAYOS DE BOMBEO										
Fecha				<input type="text" value="16042007"/>						
Caudal extraído (m3/h)				<input type="text"/>						
Duración del bombeo (piezometro)				<input type="text" value="72 h"/>						
Depresión en m.				<input type="text" value="2.62"/>						
Transmisividad (m2/día)				<input type="text" value="250"/>						
Coeficiente de almacenamiento				<input type="text"/>						
Fecha				<input type="text"/>						
Caudal extraído (m3/h)				<input type="text"/>						
Duración del bombeo				<input type="text"/>						
Depresión en m.				<input type="text"/>						
Coeficiente de almacenamiento				<input type="text"/>						
DATOS COMPLEMENTARIOS DE SONDEOS DEL P.A.N.U.										
Resultado del sondeo	<input type="checkbox"/>									
Fecha de cesión del sondeo										
Caudal cedido (m3/h)										
CARACTERISTICAS TECNICAS										
PERFORACIÓN					REVESTIMIENTO					
De	A	d en mm	Observaciones		De	A	D inferior mm	Espesor mm	Naturaleza	Observaciones
	0	100								
		200								
Interesante red de piezometría										

**ANEXO II: DATOS DE DESCENSOS Y ASCENSOS EN POZO
DE BOMBEO Y PIEZÓMETROS DE OBSERVACIÓN DURANTE
LOS ENSAYOS DE BOMBEO Y RECUPERACIÓN**

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
19/04/07	09:55	0	53.55	0	30.3	
		1	54.00	0.45	30.3	
		2	54.07	0.52	30.3	
		3	54.11	0.56	30.3	
		4	54.15	0.6	30.3	
	10:00	5	54.18	0.63	30.3	
		6	54.21	0.66	30.3	
		8	54.25	0.7	30.3	
		10	54.29	0.74	30.3	
		12	54.33	0.78	30.3	
19/04/07		15	54.38	0.83	30	
		20	54.45	0.9	30	
		25	54.51	0.96	30	
		30	54.56	1.01	30	
		35	54.61	1.06	30	
	10:35	40	54.64	1.09	30	
		50	54.71	1.16	30	
		60	54.77	1.22	30	
	11:15	80	54.86	1.31	30	
		100	54.97	1.42	30	
19/04/07		120	55.03	1.48	30	
	12:25	150	55.10	1.55	30	
		180	55.20	1.65	30	
	13:25	210	55.29	1.74	30	
		240	55.37	1.82	30	
	14:55	300	55.44	1.89	30	
	15:55	360	55.49	1.94	30	
	16:55	420	55.60	2.05	30	
	18:15	500	55.74	2.19	29.7	
	19:55	600	55.78	2.23	29.7	
19/04/07	21:35	700	55.92	2.37	29.7	
	23:15	800	55.98	2.43	29.7	
20/04/07	00:55	900	56.03	2.48	29.7	
	02:35	1000	56.10	2.55	29.7	
	07:35	1300	56.29	2.74	29.7	
	12:35	1600	56.44	2.89	29.7	
	17:35	1900	56.55	3	29.7	
	22:35	2200	56.68	3.13	29.7	
21/04/07	00:15	2300	56.73	3.18	29.7	
	08:35	2800	56.87	3.32	29.7	
	15:35	3220	57.00	3.45	29.4	
	21:55	3600	57.14	3.59	29.4	
22/04/07	09:40	4305	57.26	3.71	29.4	
		4306	56.40	2.85	0	
		4307	56.39	2.84	0	
		4308	56.40	2.85	0	
		4309	56.39	2.84	0	
		4310	56.36	2.81	0	
		4311	56.34	2.79	0	
		4313	56.30	2.75	0	
		4315	56.26	2.71	0	
		4317	56.22	2.67	0	
22/04/07	09:55	4320	56.19	2.64	0	
	10:00	4325	56.12	2.57	0	
		4330	56.07	2.52	0	
		4335	56.01	2.46	0	
		4340	55.96	2.41	0	
		4345	55.92	2.37	0	
		4355	55.84	2.29	0	
		4365	55.76	2.21	0	

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
	11:00	4385	55.63	2.08	0	
		4405	55.52	1.97	0	
22/04/07		4425	55.43	1.88	0	
	12:10	4455	55.29	1.74	0	
		4485	55.19	1.64	0	
	13:10	4515	55.10	1.55	0	
		4545	55.00	1.45	0	
	14:40	4605	54.80	1.25	0	
	15:40	4665	54.70	1.15	0	
	16:40	4725	54.60	1.05	0	
	18:00	4805	54.45	0.9	0	
	19:40	4905	54.29	0.74	0	
22/04/07	21:20	5005	54.13	0.58	0	
	23:00	5105	54.00	0.45	0	
23/04/07	00:40	5205	53.88	0.33	0	
	09:00	5705	53.37	-0.18	0	
	10:25	5790	53.29	-0.26	0	
	11:40	5865	53.34	-0.21	0	
	22:25	6510	52.82	-0.73	0	

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
19/04/07	09:55	0	51.58	0	30.3	
		1	51.60	0.02	30.3	
		2	51.61	0.03	30.3	
		3	51.63	0.05	30.3	
		4	51.65	0.07	30.3	
	10:00	5	51.66	0.08	30.3	
		6	51.67	0.09	30.3	
		8	51.70	0.12	30.3	
		10	51.72	0.14	30.3	
		12	51.74	0.16	30.3	
19/04/07		15	51.76	0.18	30	
		20	51.80	0.22	30	
		25	51.84	0.26	30	
		30	51.86	0.28	30	
		35	51.86	0.28	30	
	10:35	40	51.84	0.26	30	
		50	51.86	0.28	30	
		60	51.89	0.31	30	
	11:15	80	51.93	0.35	30	
		100	52.07	0.49	30	
19/04/07		120	52.06	0.48	30	
	12:25	150	52.12	0.54	30	
		180	52.27	0.69	30	
	13:25	210	52.27	0.69	30	
		240	52.40	0.82	30	
	14:55	300	52.37	0.79	30	
	15:55	360	52.46	0.88	30	
	16:55	420	52.58	1	30	
	18:15	500	52.73	1.15	29.7	
	19:55	600	52.67	1.09	29.7	
19/04/07	21:35	700	52.82	1.24	29.7	
	23:15	800	52.87	1.29	29.7	
20/04/07	00:55	900	52.91	1.33	29.7	
	02:35	1000	53.04	1.46	29.7	
	07:35	1300	53.16	1.58	29.7	
	12:35	1600	53.30	1.72	29.7	
	17:35	1900	53.40	1.82	29.7	
	22:35	2200	53.53	1.95	29.7	
21/04/07	00:15	2300	53.68	2.1	29.7	
	08:35	2800	53.75	2.17	29.7	
	15:35	3220	53.97	2.39	29.4	
	21:55	3600	54.08	2.5	29.4	
22/04/07	09:40	4305	54.11	2.53	29.4	
		4306	53.94	2.36	0	Comienzo de recuperación
		4307	53.92	2.34	0	
		4308	53.91	2.33	0	
		4309	53.90	2.32	0	
		4310	53.89	2.31	0	
		4311	53.88	2.3	0	
		4313	53.86	2.28	0	
		4315	53.84	2.26	0	
		4317	53.82	2.24	0	
22/04/07	09:55	4320	53.80	2.22	0	
	10:00	4325	53.76	2.18	0	
		4330	53.73	2.15	0	
		4335	53.70	2.12	0	
		4340	53.67	2.09	0	
		4345	53.64	2.06	0	
		4355	53.58	2	0	
		4365	53.53	1.95	0	

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
	11:00	4385	53.42	1.84	0	
		4405	53.33	1.75	0	
22/04/07		4425	53.25	1.67	0	
	12:10	4455	53.14	1.56	0	
		4485	53.04	1.46	0	
	13:10	4515	52.94	1.36	0	
		4545	52.85	1.27	0	
	14:40	4605	52.67	1.09	0	
	15:40	4665	52.59	1.01	0	
	16:40	4725	52.50	0.92	0	
	18:00	4805	52.37	0.79	0	
	19:40	4905	52.20	0.62	0	
22/04/07	21:20	5005	52.06	0.48	0	
	23:02	5107	51.93	0.35	0	
23/04/07	00:40	5205	51.81	0.23	0	
	09:00	5705	51.30	-0.28	0	
	10:25	5790	51.23	-0.35	0	
	11:36	5861	51.18	-0.4	0	
	22:24	6509	50.77	-0.81	0	



3926-3-1727

Naranjos (Piezómetro 2)

Instituto Geológico
y Minero de España

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
19/04/07	09:55	0	49.75	0	30.3	
	10:07	12		-49.75	30.3	
	11:40	105	50.27	0.52	30	
		120	50.22	0.47	30	
	12:25	150	50.24	0.49	30	
		180	50.44	0.69	30	
	13:25	210	50.46	0.71	30	
		240	50.57	0.82	30	
	14:55	300	50.54	0.79	30	
	15:55	360	50.59	0.84	30	
19/04/07	16:55	420	50.75	1	30	
	18:15	500	50.91	1.16	29.7	
	19:55	600	50.84	1.09	29.7	
	21:35	700	51.00	1.25	29.7	
	23:15	800	51.04	1.29	29.7	
20/04/07	00:55	900	51.09	1.34	29.7	
	02:35	1000	51.24	1.49	29.7	
	07:35	1300	51.35	1.6	29.7	
	12:35	1600	51.50	1.75	29.7	
	17:35	1900	51.61	1.86	29.7	
	22:35	2200	51.76	2.01	29.7	
21/04/07	00:15	2300	51.92	2.17	29.7	
	08:35	2800	52.00	2.25	29.7	
	15:35	3220	52.22	2.47	29.4	
	21:55	3600	52.35	2.6	29.4	
22/04/07	09:40	4305	52.37	2.62	29.4	
		4306	52.35	2.6	0	
		4307	52.32	2.57	0	
		4308	52.31	2.56	0	
		4309	52.30	2.55	0	
		4310	52.29	2.54	0	
		4311	52.28	2.53	0	
		4313	52.26	2.51	0	
		4315	52.24	2.49	0	
		4317	52.22	2.47	0	
22/04/07	09:55	4320	52.20	2.45	0	
	10:00	4325	52.17	2.42	0	
		4330	52.13	2.38	0	
		4335	52.10	2.35	0	
		4340	52.07	2.32	0	
		4345	52.04	2.29	0	
		4355	51.99	2.24	0	
		4365	51.94	2.19	0	
	11:00	4385	51.84	2.09	0	
		4405	51.76	2.01	0	
22/04/07		4425	51.68	1.93	0	
	12:10	4455	51.57	1.82	0	
		4485	51.47	1.72	0	
	13:10	4515	51.37	1.62	0	
		4545	51.28	1.53	0	
	14:40	4605	51.11	1.36	0	
	15:40	4665	51.04	1.29	0	
	16:40	4725	50.95	1.2	0	
	18:00	4805	50.83	1.08	0	
	19:40	4905	50.66	0.91	0	
22/04/07	21:20	5005	50.51	0.76	0	
	23:00	5105	50.39	0.64	0	
23/04/07	00:40	5205	50.27	0.52	0	
	09:02	5707	49.76	0.01	0	
	10:25	5790	49.69	-0.06	0	
	11:38	5863	49.63	-0.12	0	



3926-3-1727

Naranjos (Piezómetro 2)

Instituto Geológico
y Minero de España

Fecha	Hora	Tiempo (min)	Prof. del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)	Observaciones
	22:35	6520	49.23	-0.52	0	

ANEXO III: “DOSSIER” DE FOTOGRAFÍAS



Piezómetro de observación 1 "Cane More" N° IPA 392631718



Piezómetro de observación
2 "Naranjos" N° IPA
392631727



Pozo de bombeo "Cane More Nuevo" Nº IPA 392631726



Caudalímetro y contador de volumen
marca ADMG



Electrobomba de 60 C.V



Regulador de frecuencia de electrobomba VTC