

Documentos extraídos de la documentación realizada por la empresa IDRENA sobre un análisis del acuífero Alborón - Ancín en 2004-2005

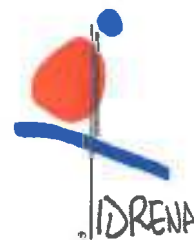
El análisis incluyó:

- Estudio de la información existente
- Ensayos de bombeo en Ancín (realizados en octubre de 2004 y abril de 2005)
- Modelización matemática y simulación de bombeos

Los documentos extraídos son:

Simulación matemática de la explotación del sondeo de Ancín. Páginas 66 a 71 del informe final del estudio = Páginas 67 a 72 del documento "INFORME FINAL.pdf".

Conclusiones y recomendaciones finales. Páginas 73 a 77 del informe final del estudio = Páginas 74 a 78 del documento "INFORME FINAL.pdf".



Simulación matemática de la explotación del sondeo de Ancín

ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DE LA U.H. DE LÓQUIZ EN EL SECTOR DE ANCÍN (NAVARRA)
Informe de Avance a 31/12/2004

Pág. 66

El hecho de que la conexión hidrodinámica entre el río Ega y el acuífero de Lóquiz, que sin duda existe a partir (aguas abajo) de un perfil situado cerca e inmediatamente aguas arriba del puente de Ancín, no se haya manifestado durante ninguno de los dos *bombes de ensayo* realizados en el marco del Estudio impide la realización de un cálculo objetivo del efecto que tendría la puesta en explotación del sondeo “Ancín P-6” sobre el caudal del río Ega.

Para paliar dicha imposibilidad sólo cabe considerar dos hipótesis plausibles sobre cuál sería el mecanismo de la afección y, por tanto, el impacto del bombeo:

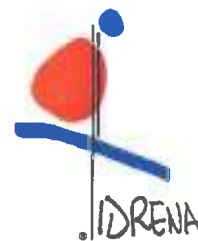
1. La primera opción contemplada ha sido que la conexión hidrodinámica entre río y acuífero sea tan baja como para no resultar caracterizable por técnicas analíticas (derivadas de Hantush, fundamentalmente). En este caso, sólo cabe establecer que los bombes que se efectuasen en el sondeo “Ancín P-6” distorsionarían el flujo en el conjunto del acuífero y, por esa vía, repercutirían en la descarga subterránea que debe tener lugar en el entorno de Ancín, reduciéndola; sin embargo, el régimen de afección no podría ser calculado de forma analítica. Sólo lo sería mediante la elaboración de un modelo matemático del flujo subterráneo en el acuífero, en el que se tanteasen distintas posibilidades plausibles de localización del tramo conectado del cauce y sobre el grado de colmatación del mismo.
2. La segunda línea de trabajo seguida –reflejada en la fig. 32–, ha consistido en seleccionar un tramo recto del río real más o menos conectado con el acuífero, y elaborar hipótesis verosímiles sobre su grado de conexión hidrodinámica con él. El tramo recto de río, inevitablemente infinito¹⁷, ha sido el definido por la alineación, de dirección NO-SE, del punto de control PM-06 y el puente de Ancín, lo que supone incluir un tramo inexistente de cauce –la semirrecta de origen en el punto de control indicado y su prolongación hacia el NO–. Las distintas hipótesis que cabe establecer sobre el grado real de conexión entre el acuífero y dicho río “rectificado” e infinito se han expresado mediante la localización, más o menos alejada y en paralelo respecto del río “real”, de un río “perfecto” –totalmente penetrante y nada colmatado– equivalente. Sobre esa base, se han efectuado varios tanteos de cálculo suponiendo que el río “perfecto” equivalente al real está situado a una distancia 2 y 4 veces superior a la que existe entre el sondeo “Ancín P-6” y el tramo de río indicado (650 m); es decir, 1300 y 2600 m.

Para efectuar los cálculos se ha partido de los siguientes supuestos:

- Se ha simplificado la geometría del río en el tramo considerado, en la forma descrita y representada en la fig. 32, lo que supone situarse en una

¹⁷

A fin de poder efectuar un tratamiento analítico de cálculo de la afección.



posición conservadora, ya que los cálculos se efectúan con más río conectado, del que existe en el “mejor” de los casos. La distancia desde el sondeo de bombeo al río real es $d_r = 650 \text{ m}$.

- La afección al río real, desencadenada por el bombeo en el sondeo de explotación de que se trate (el “Ancín P-6” en nuestro caso), se calcula como el porcentaje del caudal extraído que es progresivamente aportado por el río, mediante la ecuación establecida por Glover y Balmer¹⁸ y por Houdaille y de Marsily¹⁹. En los trabajos mencionados se demuestra que el valor del cociente entre el caudal detráido al río $-Q_R(t)-$ en el instante t , y el caudal de bombeo $-Q_B-$, aumenta desde un valor inicialmente igual a 0, hasta un valor final igual a 1, es decir, del 100%, situación que se da cuando todo el caudal bombeado es aportado por el río y, por tanto, cuando la depresión piezométrica en bombeo se estabiliza, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_R(t)/Q_B = \text{erfc} \{ [d_e^2 \cdot m_e / (4 \cdot T \cdot t)]^{1/2} \} \quad [1]$$

La función **erfc(α)**, o *función complementaria de la función de los errores*, es una función tabulada²⁰ para distintos valores de α , parámetro que en este caso es directamente proporcional a la distancia d_e entre el sondeo de bombeo y el río equivalente, e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la *difusividad hidrodinámica* del acuífero $-T/m_e = \nu-$ y del tiempo de bombeo transcurrido, t .

- La *difusividad hidrodinámica* del acuífero $-v-$ se estima en $8660 \text{ m}^2/\text{h}$, a partir de los siguientes los valores:
 - $T = 433 \text{ m}^2/\text{h}$, obtenido como resultado promedio de la interpretación del primer ensayo realizado.
 - $m_e = 0,05$, valor estimado como representativo para un proceso de drenaje del acuífero a largo plazo (los valores obtenidos en el primer ensayo sólo son representativos de la capacidad de drenaje del acuífero para el tiempo de bombeo).

¹⁸ “River depletion resulting from pumping a well near a river”. Robert E. Glover y Glenn G. Balmer; Transaction of the American Geophysical Union; vol. 35, nº 2; págs. 468-470; 1954.

¹⁹ “Débits soustraits à une rivière par un pompage effectué dans une nappe alluviale”. A. Houdaille y G. de Marsily; L’EAU, págs. 19-23; 1969.

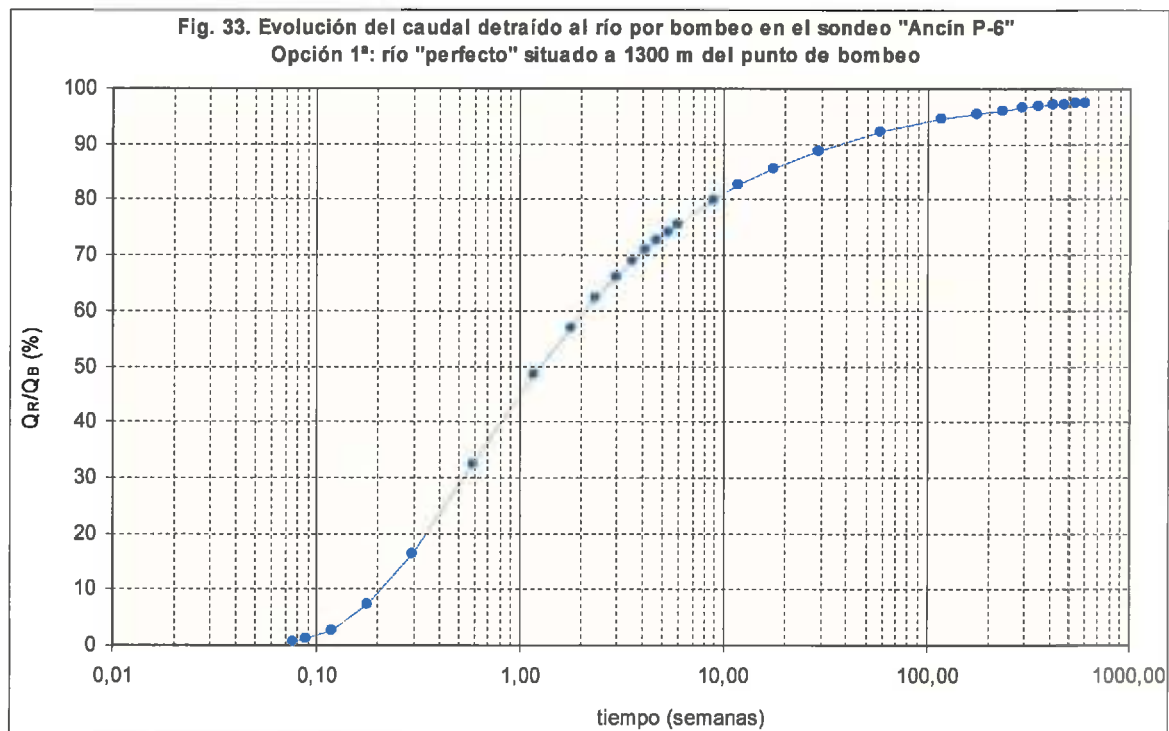
²⁰ La función de los errores **erf(α)** viene descrita y tabulada en el capítulo 7. del “Handbook of Mathematical Functions”, del U.S. Department of Commerce; National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series, 55; 1964.
Por lo demás, **erfc(α) = 1 - erf(α)**

- Como primera aproximación de cálculo se ha supuesto que el río perfecto equivalente está situado a doble distancia del punto de bombeo que el real. Es decir, $d_e = 1300$ m. Sustituyendo los valores numéricos indicados de T , m_e y d_e en la ecuación [1] resulta la expresión de cálculo siguiente

$$Q_R(t)/Q_B = \operatorname{erfc} [6,985/t^{1/2}]$$

a partir de la cual se ha construido el gráfico de la fig. 33, representativo de la evolución del cociente Q_R/Q_B en el tiempo (en escala logarítmica), es decir, del ritmo de aumento del porcentaje del caudal de bombeo que es proporcionado por el río, que presenta los siguientes rasgos principales:

- El río cedería el 90 % del caudal bombeado al cabo de unas 40 semanas del inicio del bombeo.
- El 50 % del caudal de bombeo sería proporcionado por el río al cabo de unas 1,5 semanas, aproximadamente.



- Al final de la primera semana de bombeo, el río cedería al acuífero casi el 45 % del caudal bombeado. Este es el resultado más significativo de esta primera aproximación, ya que no concuerda en absoluto con la evo-

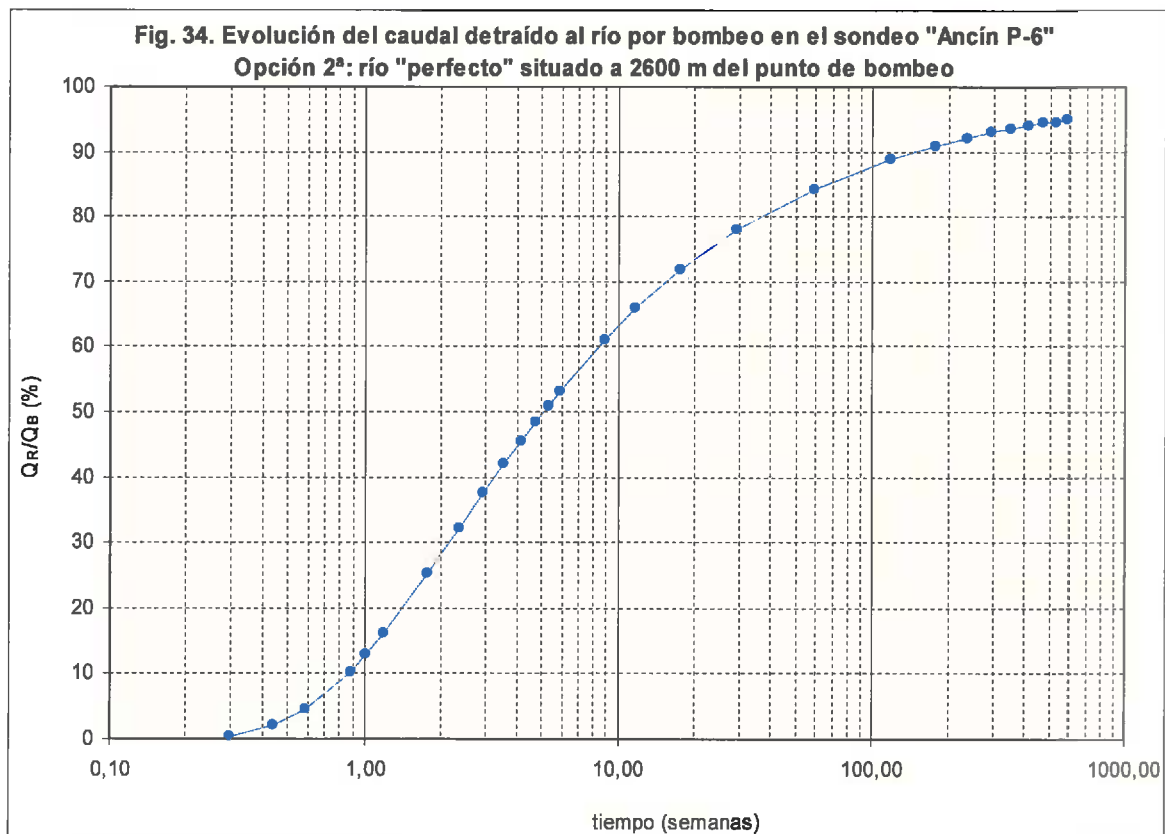


lución observada en los dos bombeos de ensayo realizados: si al cabo de una semana el río hubiese estado proporcionando un 40 % del caudal extraído, la evolución de los descensos hubiera reflejado una sensible tendencia a la estabilización del nivel, que en ninguno de los dos casos ni siquiera se ha insinuado. Es decir, el río “perfecto” equivalente está situado necesariamente a una distancia claramente mayor de los 1300 m indicados.

Sobre la base del resultado precedente, se ha realizado una segunda estimación suponiendo que el río ficticio equivalente –el que se supone “perfecto”– está situado a una distancia cuatro veces superior a la que existe entre el punto de bombeo y el río real; es decir, $d_e = 2600$ m. Llevando este valor, junto con los de T y m_e , a la ecuación [1] resulta la expresión de cálculo siguiente

$$Q_R(t)/Q_B = \text{erfc} [13,969/t^{1/2}],$$

con la que se ha construido el gráfico de la fig. 34, cuyas principales características son:





- El río cedería el 90 % del caudal bombeado al cabo de unas 150 semanas, desde el inicio del bombeo.
- El 50 % del caudal de bombeo sería proporcionado por el río al cabo de unas 5 semanas, aproximadamente.
- Al final de la primera semana de bombeo, se induciría una filtración desde el río al acuífero del 13 % del caudal bombeado. Teniendo en cuenta que los cálculos se han realizado añadiendo río donde no lo hay –la semi-recta que parte del punto PM-05 hacia el NO–, este resultado podría ser compatible con las evoluciones observadas en los dos *bombeos de ensayo* efectuados, ya que la participación del río al cabo de una semana sería muy baja y la todavía incipiente tendencia hacia la estabilización podría quedar enmascarada por otras influencias de mayor rango.

Como **síntesis** de las dos aproximaciones de cálculo realizadas, se puede suponer que:

- El río “perfecto” equivalente al real estaría situado a una distancia de como mínimo 2600 m del sondeo “Ancín P-6”, lo que es compatible con las conclusiones expresadas en el capítulo 4.
- Una explotación de dicho sondeo durante, por ejemplo, **dos meses** ininterrumpidos para dotar riegos provocaría al final de la campaña una **afección en el río** equivalente a menos del 60 % del caudal bombeado, cualquiera que fuese la cuantía del mismo.



Conclusiones y recomendaciones finales

ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DE LA U.H. DE LÓQUIZ EN EL SECTOR DE ANCÍN (NAVARRA)
Informe de Avance a 31/12/2004

Pág. 73

Los trabajos de caracterización de la U.H. de Lóquiz en el sector de Ancín, cuyo desarrollo y resultados se han expuesto en los capítulos precedentes, permiten establecer las siguientes conclusiones sobre las características hidrodinámicas del acuífero y sobre su relación hidrodinámica con el río Ega.

I Parámetros hidrodinámicos del acuífero:

- a. El primero de los dos bombeos de ensayo realizados, llevado a cabo en octubre de 2004 en un estado de estiaje bastante acusado y con una superficie libre subhorizontal en el área de influencia del ensayo²¹, ha permitido comprobar que el acuífero es bastante homogéneo dentro del área de influencia del primer *bombeo de ensayo*, de alcance hectométrico. Se ha podido calcular un valor medio, de alta fiabilidad, de **433 m²/h para la transmisividad**, que corresponde a un valor de **3,4 · 10⁻⁴ m/s para la permeabilidad horizontal media** del acuífero carbonatado en todo su espesor saturado. Las estimaciones relativas al almacenamiento –porosidad eficaz, por tratarse de un acuífero globalmente libre– del acuífero resultan, como sucede habitualmente, de escasa fiabilidad: sólo son representativas de la capacidad de drenaje del acuífero para el tiempo que duró el bombeo y subestiman el valor real de la porosidad eficaz para un drenaje de larga duración.

II Conexión hidrodinámica río-acuífero:

- a. En ninguno de los dos *bombeos de ensayos* realizados –el segundo se desarrolló en abril de 2005, en una situación de máximo piezométrico muy poco acusado– ha podido identificarse la existencia de conexión hidrodinámica entre el río y el acuífero a través de medio poroso saturado, es decir, en condiciones potenciales de afección del bombeo al río. Dicha circunstancia hidrodinámica –la de no conexión entre el río y el acuífero– formaba parte del programa previsto para el primer ensayo, para cuya realización se eligió una situación de intenso estiaje: cuando se inició el bombeo, el acuífero estaba “descolgado” del río unos 75 cm a la altura del sondeo “Ancín P-6” (ver perfil transversal de la fig. 27), y sólo se establecía conexión a partir de unos 700 m aguas abajo del punto de bombeo²².
- b. Por el contrario, cuando se inició el segundo de los ensayos, la superficie libre del acuífero a la altura del sondeo de bombeo estaba 16 cm por encima del lecho del río (ver perfil transversal de la fig. 28), lo que suponía una ligera y muy efímera conexión río-acuífero frente al sondeo de bombeo; en efecto, a

²¹ La cota de la superficie libre del acuífero en el piezómetro “Ancín R-8”, a unos 1080 m de distancia del sondeo de bombeo, estaba situada a sólo 18 mm más de cota que en éste (ver perfil transversal de la fig. 27).

²² Esa es la distancia que en línea recta separa el sondeo de bombeo del punto del cauce, situado entre las referencias PM06 y Ega 1-113 (ver fig. 1-a) en el que, según se indica en el perfil longitudinal de la fig. 27, comienza el contacto río-acuífero.



los 75 minutos de comenzado el segundo bombeo, ya se había registrado en el piezómetro “Ancín R-7”, situado a unos 200 m del sondeo de bombeo, una depresión superior a esos 16 cm. Es decir, al cabo de sólo 1 hora de bombeo, aproximadamente, el acuífero ya se había descolgado del río en el tramo del mismo situado frente a los sondeos “Ancín P-6” y “Ancín R-7”. En concordancia con ello, las evoluciones piezométricas restituidas para los descensos en los dos puntos de observación indicados (los más próximos al cauce) –ver figs. 23 y 24– no reflejan ninguna estabilización del nivel.

- c. La evolución de la conductividad eléctrica del agua bombeada refleja una leve disminución 543 a 515 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las primeras 40 horas de bombeo y, tras un largo tramo de estabilización, presenta de nuevo una leve disminución hasta 511 $\mu\text{S}/\text{cm}$, desde la hora 90 hasta el final del bombeo. Estas variaciones responden a un aporte de agua subterránea de infiltración reciente en la franja más somera del acuífero y no a un proceso de conexión río-acuífero, que habría dado lugar a una disminución continua de la conductividad hacia el valor correspondiente al agua del río (359 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- d. El hecho de que ni siquiera se hayan llegado a insinuar los efectos de una posible afección al río en las dos pruebas de bombeo realizadas indica que el grado de conexión hidrodinámica existente entre ambos –determinado por la muy débil penetración del río en el acuífero (prácticamente sólo lo “araña”) y por la muy baja permeabilidad del lecho (debido a su carácter limoso-arcilloso)– es tan reducido que, para ser observados, se precisaría de un bombeo cuya duración entrase, como mínimo, en un quinto ciclo logarítmico de la escala de tiempo (en minutos), es decir, hasta unas 10 semanas de bombeo continuo.

III Posibilidades de explotación del acuífero mediante el sondeo “Ancín P-6”

- a. Dado que, obviamente, existe conexión hidrodinámica entre el acuífero de Lóquiz y el río Ega –por la incuestionable razón de que el primero termina descargándose de forma natural en el segundo a lo largo de un cierto tramo de cauce²³–, se han efectuado algunas estimaciones de la cuantía de las afecciones al río Ega por los bombeos que se realizasen en el sondeo “Ancín P-6”, dependiendo del mayor o menor grado de conexión hidrodinámica entre el río y el acuífero. Para ello, se ha esquematizado el tramo de río Ega conectado al acuífero como la línea azul continua de la fig. 32; el río ficticio “perfecto” (es

²³

En efecto, tal descarga se produce a lo largo de un tramo de cauce sin acotar, del que sólo se conoce algo sobre su límite aguas arriba: debe de estar situado algunos centenares de metros aguas arriba del puente sobre el río Ega en la ctra. NA-132A, inmediatamente antes de entrar en Ancín (viniendo desde Vitoria). La posición precisa de dicho límite varía con la posición de la superficie libre del acuífero: se aleja o acerca a dicho núcleo de población según se trate de aguas altas o de estiaje, respectivamente. La localización de su límite aguas abajo es todavía bastante incierta.



- decir, el totalmente penetrante en el acuífero y nada colmatado), equivalente al río real, es la línea roja continua; el grado de conexión ha sido cuantificado en forma de cociente entre las distancias desde el sondeo de bombeo al río ficticio y “perfecto” $-d_e-$, y la distancia entre el sondeo y el río real ($d_r = 650 \text{ m}$)²⁴.
- b. Se ha analizado primeramente el caso de que el grado de conexión río-acuífero sea tal que la distancia (desde el sondeo de bombeo) al río equivalente sea el doble de la distancia al río real, es decir, que ascienda a 1.300 m, supuesto éste que ha debido ser descartado porque, de haber sido cierto, la conexión se habría tenido que manifestar durante el segundo *bombeo de ensayo*, y no fue éste el caso. Los cálculos realizados suponiendo que la distancia desde el sondeo de bombeo al río ficticio equivalente sea 4 veces mayor que la existente hasta el río real –esto es, 2.600 m– indican (ver fig. 34) que, como orden de magnitud, al cabo de una semana de bombeo se podría estar detrayendo del río del orden de un 13 % como máximo, aproximadamente, del caudal bombeado. Sin embargo, el hecho de haber utilizado en los cálculos un río conectado con el acuífero de longitud doble de la real²⁵ permite estimar, como orden de magnitud, que son más representativos unos valores porcentuales aproximadamente mitad de los indicados. Es decir, en el supuesto considerado, al cabo de 1 semana de bombeo continuo, podría estar detrayéndose del Ega entre un 6 y un 10 % del caudal bombeado, mientras que una explotación continua de 2 meses de duración estaría ocasionando al final del periodo de bombeo una detracción de agua en el río igual, como orden de magnitud, a de 30 a 40 % del caudal bombeado.
- c. Los resultados –meramente orientativos– reflejados en el epígrafe anterior dan cuenta de un condicionante principal de las posibilidades de explotación del sondeo “Ancín P-6”, como es el régimen de afección que los bombeos que se realicen en él provoquen en la escorrentía superficial en el río Ega, y, más especialmente, qué parte del agua extraída al final²⁶ de un bombeo continuo de 2 meses de duración, a 98 l/s de caudal, procedería del río: como máximo, del 30 al 40 % del caudal extraído (con independencia del valor de éste). El otro condicionante cuantitativo principal es el que se deriva, por un lado, de la propia calidad hidrodinámica del acuífero (su transmisividad, fundamentalmente) y, por otro, de la calidad hidráulica del sondeo en tanto que obra de captación, como factores limitantes para el caso de que se deseara aumentar la duración

²⁴ Como es obvio, cuanto menor sea el grado de conexión río-acuífero, más elevado será el cociente entre las dos distancias, es decir, más alejado estará el río ficticio “perfecto” (completo y nada colmatado) equivalente al río real.

²⁵ Como es obvio, en el caso que nos ocupa no existe un tramo de río conectado al acuífero que continúe hacia el NO desde el punto PM-05. Es decir, el río Ega ha sido esquematizado como un segmento seminfinito, y no como una recta infinita.

²⁶ La medida adoptada para la afección tiene un carácter instantáneo –esto es, no acumulado– y se expresa mediante el valor de la fracción del agua bombeada en un instante dado que proviene de la escorrentía superficial.



y/o el caudal del bombeo en el sondeo considerado, más allá de los 10.350 min (7 d y 4,5 h) de duración y/o por encima de los 98 l/s de caudal de bombeo, respectivamente:

- al cabo de 10 semanas (10^5 min) de bombeo continuo a 98 l/s de caudal se registraría una depresión en bombeo de 2,4 m, aproximadamente²⁷;
- si el caudal se aumentase hasta, por ejemplo, 120 l/s²⁸, la depresión que se registraría al cabo de las 10 semanas de bombeo continuo ascendería a 3,4 m, aproximadamente²⁹.

Con la precisión que cabe atribuir a los cálculos realizados, parece aceptable, en principio, llevar a cabo en el sondeo “Ancín P-6” bombeos continuos de 10 semanas de duración máxima, a un caudal no mayor de 120 l/s. Entre dos periodos de bombeo consecutivos debiera transcurrir una parada de duración igual, como mínimo a la del bombeo.

IV Explotación sostenida de los recursos hídricos del acuífero de Lóquiz

- a. Los cálculos de los que se da cuenta en el epígrafe III responden a un intento bastante voluntarista de cuantificar las posibilidades de explotación sostenida de una parte de los recursos renovables interanuales del acuífero de Lóquiz, mediante el sondeo “Ancín P-6”, sobre la base de una conexión río-acuífero que no ha podido ser cuantificada con suficiente precisión. Para que se pudiese llegar a resultados más precisos y fiables, no sólo sobre las posibilidades de explotación de dicha captación, exclusivamente, sino contando con todas las que conviniese realizar con esa finalidad, sería necesario elaborar un modelo matemático del flujo subterráneo en el acuífero de Lóquiz, en su área de influencia hidrogeológica a la cuenca vertiente al río Ega entre las estaciones de aforo de Ancín y Murieta.
- b. Como medios técnicos complementarios que diesen a dicha modelización la utilidad posible y deseable, convendría realizar diversos trabajos de reconocimiento hidrogeológico y de caracterización hidrodinámica del acuífero de Lóquiz en el ámbito indicado, como, entre otros, los siguientes: perforación y equipamiento de al menos 1 sondeo mecánico (de ensayo y explotación) para

²⁷ La recta ajustada a los descensos restituídos en el sondeo “Ancín P-6”, reflejada en la fig. 23 tiene por ecuación:
 $\Delta = 0,43 \cdot \log t + 0,23$ con t en minutos y Δ en metros

En dicha recta va incluida una depresión parásita de unos 25 cm (ver fig. 2), correspondiente a un caudal de bombeo de 98 l/s.

²⁸ Es posible que resultase viable bombear de forma sostenida en el sondeo “Ancín P-6” un caudal superior a esos 120 l/s –200 l/s, por ejemplo–, pero para asegurarlo sería necesario tantear esa gama de caudales con el fin de estimar el correspondiente valor de la *depresión parásita*. La fig. 2 no permite una extrapolación de esa magnitud.

²⁹ La recta correspondiente a este nuevo caudal tendría una pendiente mayor que la de la recta anterior, en la misma proporción que el aumento del caudal; es decir, sería igual a $0,43 \cdot 120/98 = 0,53$. Su ordenada en el origen equivaldrá al nuevo valor de la *depresión parásita* (estimable a partir de la fig. 2): 0,7 m, aproximadamente.



reconocimiento del acuífero y estudio de su conexión con el río (mediante correlación de evoluciones piezométrica-hidrométrica, por ejemplo), y efectuar reconocimientos detallados del cauce en situación de estiaje.